



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Topi Reponen

Sivukäytävien vaikutus kerrostalon porrashuoneen palonaikaisiin olosuhteisiin

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 16.6.2016

Valvoja: Professori Simo Hostikka

Ohjaaja: DI Juha-Pekka Laaksonen

Tekijä Topi Reponen

Työn nimi Sivukäytävien vaikutus kerrostalon porrashuoneen palonaikaisiin olosuhteisiin

Koulutusohjelma Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka

Pää-/sivuaine Rakennetekniikka

Koodi R3001

Työn valvoja Professori Simo Hostikka

Työn ohjaaja(t) DI Juha-Pekka Laaksonen

Päivämäärä 16.6.2016

Sivumäärä 97+19

Kieli suomi

Tiivistelmä

Porrashuoneen sivukäytävillä tarkoitetaan tavanomaisesta porrashuoneratkaisusta poikkeavaa järjestelyä, jossa porrashuoneeseen on yhdistetty käytäviä, jotka mahdollistavat useamman asunnon liittämisen saman porrashuoneen yhteyteen. Sivukäytävien on kuitenkin epäilty heikentävän kerrostalon asukkaiden poistumisturvallisuutta sekä hidastavan pelastushenkilökunnan toimintaa. Useat pelastuslaitokset ovatkin siksi vaatineet yli neljämetristen sivukäytävien erottamista omiksi palo-osastoikseen sekä varustettavaksi riittävällä savunpoistolla.

Työssä tutkittiin sivukäytävien pituuden vaikutusta savun leviämiseen ja poistumiseen porrashuoneesta ja siihen yhteydessä olevista käytävistä. Työ toteutettiin suorittamalla CFD-simulointeja työtä varten luodussa tavanomaisessa kahdeksankerroksisessa esimerkkikerrostalossa. Saatuja tuloksia ei kokeellisen mittausdatan puutteen takia kyetty validoimaan, mutta koska rakennuksen geometria pidettiin käytävien pituuksien muutoksia lukuunottamatta kaikissa simuloinneissa samanlaisena, voitiin simuloinneista saatuja tuloksia luotettavasti vertailla keskenään.

Eri käytävän pituuksilla saatujen FDS-simulointitulosten vertailun perusteella, sivukäytävien pituuden kasvattaminen näyttäisi hidastavan hieman savun leviämistä porrashuoneessa ja sen sivukäytävissä. Vastaava ilmiö todettiin myös savun poistumisen yhteydessä, mutta ajalliset erot olivat selvemmin havaittavissa kuin savun leviämisen yhteydessä. Työssä kokeilluista savun poistumisen tehostamiseen käytetyistä ratkaisuista palokunnan siirrettävien suuntapainepuhaltimien ei havaittu nopeuttavan savun poistumista, mutta käytäviin lisättyjen automaattisesti sulkeutuvien savuovien todettiin sekä parantavan savun poistumista että estävän myös sen leviämistä porrashuoneessa.

Avainsanat sivukäytävä, kerrostalo, porrashuone, savu, FDS, simulointi, tulipalo



Author Topi Reponen

Title of thesis The effects of adjoining corridors to the conditions in an apartment stairwell during fire

Degree programme Structural Engineering and Building Technology

Major/minor Structural Engineering

Code R3001

Thesis supervisor Professor Simo Hostikka

Thesis advisor(s) M.Sc. (tech) Juha-Pekka Laaksonen

Date 16.6.2016

Number of pages 97+19

Language Finnish

Abstract

In the traditional stairwell layout all apartments are located directly to the stairwell. A more efficient layout is to add and connect corridors to the stairwell and place the apartments along the corridor. This way single corridor can serve more apartments than the traditional layout. However, there is suspicion that these long corridors will decrease the occupants fire safety and impede the rescue personnel operations. And that's why rescue departments of Finland's metropolitan area are especially demanding compartmentation and sufficient smoke control to these corridors when their length exceeds four meters.

The main task of this thesis was to study how the differing of the corridor length affects to the spreading of smoke and how the time needed to extract the smoke from stairwell changes. The study was conducted by doing CFD simulations in a model of ordinary eight story high apartment house. The lack of suitable experimental data prevented the validation of the simulation model. However, this don't prevent to reliably compare the results from simulations with different corridor lengths because the geometry of the model was kept same in all simulations.

The results of the FDS simulations showed that increase in the corridor length slowed slightly the spreading speed of smoke. A same kind of behavior was seen in the time needed to extract the smoke from the stairwell and corridors. By adding PPV fans to the exterior door of stairwell in the first floor didn't improve the smoke extraction rate in any of the simulation. Alternatively, the added self-closing smoke doors to the corridors did improve significantly the smoke extraction and also prevented the smoke propagation.

Keywords corridor, apartment house, stairwell, smoke, FDS, simulation, fire

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Sisällysluettelo.....	4
Merkinnät.....	6
Lyhenteet	8
1 Johdanto.....	9
1.1 Tausta	9
1.2 Tavoitteet ja toteutus.....	10
2 Savun ominaisuudet ja liikkeisiin vaikuttavat tekijät.....	11
2.1 Savun määritelmä ja koostumus	11
2.2 Näkyvyys savussa.....	11
2.3 Savun myrkyllisyys.....	13
2.4 Savun lämpötila	14
2.5 Paloreaktioiden merkitys savun liikkeisiin	17
2.6 Hormivaikutuksen merkitys savun liikkeisiin	19
2.7 Tuulenpaineen merkitys savun liikkeisiin.....	21
3 Savunpoistomenetelmät ja yksinkertaisten aukkovirtausten ratkaiseminen	22
3.1 Savunhallintajärjestelmät.....	22
3.2 Painovoimainen savunpoisto	22
3.3 Koneellinen savunpoisto	24
3.4 Paineistus.....	25
3.5 Suuntapainepuhallin.....	26
3.6 Virtausmekaniikka	27
3.7 Savun virtausten arviointi käsinlaskentakaavoilla.....	29
3.8 Lämpötilojen arviointi käsinlaskentakaavoilla	33
4 Kirjallisuudesta löytyvät kokeelliset tutkimukset	35
4.1 Paloteho	35
4.2 Hiilimonoksidin tuotto.....	35
4.3 Savun kulkeutuminen	36
5 Esimerkkirakennuksen mallitus	38
5.1 Toteutus.....	38
5.2 Geometria.....	38

5.3	Olosuhteet	39
5.4	Laskentaresoluutio	39
5.5	Mitoituspalo	40
5.6	Hiilimonoksidin tuotto	41
5.7	Noen tuotto	42
5.8	Savunpoisto	42
5.9	Ikkunan hajoaminen	43
5.10	Ilmanvaihto	43
5.11	Ilmavuodot	43
5.12	Mittauspisteiden sijainnit	46
5.13	Käytävien erottaminen porrashuoneesta savuovin	46
5.14	Simuloidut esimerkkitapaukset	46
6	Simulointitulokset	49
6.1	Tulostussuureet	49
6.2	Käytävän pituuden vaikutus olosuhteisiin kerrostaso-oven ollessa kiinni	49
6.3	Käytävän pituuden vaikutus olosuhteisiin kerrostaso-oven ollessa auki	54
6.4	Palavan asunnon ikkunan hajoamisen ja palotehon vaikutus olosuhteisiin	59
6.5	Porrashuoneen savunpoiston tehostaminen siirrettävällä puhaltimella	65
6.6	Käytävässä olevan mutkan ja avoportaana vaikutus	71
6.7	Käytävien erottaminen porrashuoneesta savuovin	75
6.8	Laskentaverkon tiheyden vaikutukset tuloksiin	81
6.9	Hiilimonoksidin tuoton kasvattamisen vaikutus olosuhteisiin	84
6.10	Tulosten luotettavuus	87
7	Johtopäätökset	89
8	Lähdeluettelo	92
	Liiteluettelo	97
	Liitteet	

Merkinnot

A_c	[m ²]	horisontaalisen aukon pinta-ala
A_{cor}	[m ²]	käytävän poikkileikkausala
A_l	[m ²]	neutraalitasen alapuolinen vuotoala
A_{leak}	[m ²]	vuotoala
A_T	[m ²]	sisäpintojen pinta-ala
A_u	[m ²]	neutraalitasen yläpuolinen vuotoala
A_{VENT}	[m ²]	aukon pinta-ala
A_w	[m ²]	savun kanssa kontaktissa oleva pinta-ala
A_0	[m ²]	aukkojen pinta-ala
C	[g/m ³]	konsentraatio
C_s	[kg/m ³]	noen pitoisuus
C_w	[-]	tuulenpaineen jakaumakerroin
C_d	[-]	virtauskerroin
C_t	[min*g/m ³]	toksikologisia vaikutuksia aiheuttava annoskoko
D_m	[m ² /kg]	savun optinen tiheys
D^*	[-]	laaduton palolähteen halkaisija
H	[m]	rakennuksen/tilan korkeus
H_a	[m]	vuotojen välinen etäisyys
H_d	[m]	savukerroksen alapinnan korkeus
H_N	[m]	neutraalitasen korkeus
H_0	[m]	aukkojen pinta-aloilla painotettu keskimääräinen korkeus
K	[1/m]	vaimennuskerroin
K_{leak}	[-]	vuodon virtaushäviökerroin
K_m	[m ² /kg]	ominaisvaimennuskerroin
M_i	[kg/mol]	ilman moolipaino
ΔP_l	[Pa]	paine-ero neutraalitasen alapuolisen aukon kohdalla
Q	[kW]	paloteho
Q_m	[kW]	suurin paloteho
R	[J/mol/K]	yleinen kaasuvakio
R_{air}	[J/K/kg]	ilman kaasuvakio
S	[m]	näkyvyys
T	[K]	lämpötila
T_a	[K]	ilman lämpötila

T_e	[K]	poistovirran lämpötila
T_g	[K]	palotilan lämpötila
T_{in}	[K]	sisäpuolen lämpötila
T_{out}	[K]	ulkopuolen lämpötila
T_s	[K]	tulovirran lämpötila
ΔT	[K]	lämpötilan muutos
V	[m ³]	tilavuus
V_{in}	[m ³ /s]	tilavuusvirta sisään
\dot{V}_{leak}	[m ³ /s]	vuodon tilavuusvirta
V_{out}	[m ³ /s]	tilavuusvirta ulos
V_{VENT}	[m ³ /s]	tilavuusvirta aukon kautta
W_{cor}	[m]	käytävän leveys
Y_s	[kg/kg]	polttoaineen noen tuotto
c	[kJ/kg/K]	lämpökapasiteetti
c_p	[kJ/kg/K]	ilman lämpökapasiteetti
g	[m/s ²]	putoamiskiihtyvyys
h	[m]	korkeus
h_k	[W/m ² /K]	efektiivinen lämmönsiirtokerroin
h_g	[m]	aukon alapuolisen savukerroksen paksuus
k	[W/k/m]	lämmönjohtavuus
\dot{m}	[kg/s]	massavirta
\dot{m}_a	[kg/s]	ilman massavirta
\dot{m}_c	[kg/s]	kattoluukusta poistuvan savun massavirta
\dot{m}_g	[kg/s]	savun massavirta
Δm_f	[kg]	polttoaineen massanmuutos
p	[Pa]	paine
p_0	[Pa]	ilmakehänpaine
p_w	[Pa]	tuulenpaine
Δp	[Pa]	paine-ero
q	[kW/m ²]	säteilyvirran tiheys
t	[s]	aika
t_{conv}	[min]	konvektiivisen lämmönsiirron sietoaika
t_p	[s]	lämmöntunkeutumisaika
t_{rad}	[min]	lämpösäteilyn sietoaika

Δt	[min]	aika-askeleen pituus
v	[m/s]	virtausnopeus
v_a	[m/s]	ilman virtausnopeus
v_w	[m/s]	tuulennopeus
y	[m]	tarkastelukorkeus
z	[m]	savupatjan alapinnan korkeusasema
δ	[m]	materiaalin paksuus
ρ	[kg/m ³]	tiheys
ρ_a	[kg/m ³]	ilman tiheys
ρ_g	[kg/m ³]	savun tiheys
ρ_{out}	[kg/m ³]	ulosvirtauksen tiheys
ρ_0	[kg/m ³]	ulkoilman tiheys

Lyhenteet

ASTM	American Society for Testing and Materials
BRE	Building Research Establishment
CFAST	The Consolidated Model of Fire and Smoke Transport
CFD	Computational Fluid Dynamics, laskennallinen virtaus dynamiikka
FED	Fractional Effective Dose
FDS	Fire Dynamic Simulator
HRR	Heat release rate, paloteho
IV	Ilmanvaihto
NFPA	National Fire Protection Association
NRCC	National Research Council Canada, Kanadan kansallinen tutkimusneuvosto

1 Johdanto

1.1 Tausta

Väestön yhä jatkuva keskittyminen kasvukeskuksiin ja samalla siellä tapahtuva asuntokuntien koon supistuminen on aiheuttanut kasvavan tarpeen asuinrakentamisen voimakkaalle lisäämiselle, erityisesti pienempien asuntojen osalta. Kerrostalorakentaminen tarjoaa tähän varmasti tehokkaimman ratkaisun niin kustannusten kuin maankäytönkin kannalta. Ongelmaksi kerrostalojen yhteydessä muodostuvat kuitenkin pienet asunnot ja niiden vaikea sijoittaminen järkevästi suoraan porrashuoneen yhteyteen. Ratkaisuksi tähän ongelmaan ja myös kustannusten laskemiseen on kehitelty ns. sivukäytävällinen kerrostalon porrashuoneen pohjaratkaisu. Toisin kuin ns. perinteisessä ratkaisussa, jossa asunnot avautuvat vain suoraan porrashuoneeseen, niin tässä niitä voidaan sijoittaa lisäksi myös porrashuoneesta lähtevien käytävien varsille. Näin samaa porrashuonetta voidaan käyttää yhä useamman asunnon tarpeisiin, jolloin rakennuksen pinta-alasta suurempi osa jää itse asunnoille ja kustannukset asuntoa kohden samalla myös laskevat.

Sivukäytävällisen porrashuoneen pohjaratkaisun yleistyminen on kuitenkin herättänyt myös huolen niiden paloturvallisuudesta. Koska porrashuoneeseen yhteydessä olevat käytävät ovat avoimia vain toisesta päästä, syntyy niihin ikään kuin pussi, joihin kulkunut savu pääsee pois vain virtaamalla takaisin tulosuuntaansa. Mikäli savu täyttää tällaisen käytävän eikä poistukaan, voivat käytävän varrella olevista asunnoista ulos tulevat ihmiset olla suuremmassa vaarassa. Tämän lisäksi myös pelastushenkilöstön sammutus- ja pelastustoiminnan on arveltu hidastuvan kasvavan tiedustelumatkan takia. Tästä syystä esimerkiksi pääkaupunkiseudun pelastuslaitokset ovatkin vaatineet, että tällaiset sivukäytävät tulee erottaa omaksi palo-osastokseen sekä varustaa riittävällä savunpoistolla. Rajaksi sivukäytävän pituudelle on linjattu neljä metriä. Tällöin ratkaisun katsotaan vielä olevan tavanomainen, eikä osastointia ja erillistä savunpoistoa tarvitse toteuttaa.

Nykyiset kerrostalojen paloturvallisuussäännöt ja -määräykset on laadittu ennen sivukäytävällisen porrashuonepohjaratkaisun yleistymistä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1 (2011) ei esimerkiksi erikseen määrittele vaatimuksia tällaisille ns. sivukäytävälle, vaan antaa vaatimukset uloskäytävän koolle ja kokonaismatkalle asunnon sisältä uloskäytävään. Kerrostaloasunnoista, joista on vain yksi poistumisreitti ulos, suurin sallittu kulkureitin kokonaispituus ilman sprinklereitä on 30 metriä. Mikäli kokonaispoistumismatka uloskäytävään on kaikista käytävän varrella olevista asunnoista alle tämän suurimman sallitun poistumismatkan, ei rakentamismääräyskokoelma rajoita tällaisen käytävän pituutta muutoin, eikä myöskään edellytä erillistä savunpoistoa sivukäytäviin.

”Rakennuksesta tulee voida turvallisesti poistua tulipalossa tai muussa hätätilanteessa. Rakennuksessa tulee olla riittävästi sopivasti sijoitettuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä niin, että poistumisaika rakennuksesta ei ole vaaraa aiheuttavan pitkä.” (Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1 2011.)

1.2 Tavoitteet ja toteutus

Työn tavoitteena oli tutkia, onko perusteltua olettaa pidemmän sivukäytävän olevan palotilanteessa vaarallisempi kuin lyhyempi sivukäytävä. Tutkimus suoritettiin käyttäen hyväksi CFD-laskentaa (Computational Fluid Dynamics) perustuvaa simulointia, jota käytetään myös nykyisin yleisesti haastavien ja laajojen rakennushankkeiden yhteydessä paloteknisen suunnittelun apuna. Tässä virtausmekaniikan osa-alueessa ratkaistaan ja analysoidaan kaasujen ja nesteiden virtauksia ja käyttäytymistä. Apuna näiden laskujen ratkaisemiseen käytetään usein tietokoneita, joita varten luodaan laskentaverkko. Tarkasteltava asia jaetaan siis useisiin pieniin osiin, joille jokaiselle tietokone tämän jälkeen laskee parhaiten tutkittavaa asiaa kuvaavan arvon. Tällainen simulointiohjelma on esimerkiksi tässä työssä käytetty Fire Dynamics Simulator (FDS) v.6.3.2. Simulointiohjelman lisäksi apuna työssä hyödynnettiin myös FDS:ää varten kehitettyä kaupallista Pyrosim-ohjelmaa (versio 2015.4.1214), joka mahdollistaa simulointimallien mallittamisen graafisen käyttöliittymän avulla. Apuna tulosten käsittelyyn käytettiin lisäksi myös Matlab-ohjelmaa.

Simulointiohjelman avulla tutkittiin tavanomaisen kahdeksankerroksisen kerrostalon tapauksessa, kuinka sivukäytävän pituuden kasvattaminen muuttaa mm. savun leviämistä ja poistumista rakennuksesta. Tämän lisäksi työssä tutkittiin, voidaanko savun poistumista tehostaa palokunnan siirrettävien suuntapainepuhaltimien avulla ja kuinka mm. mutkan ja savuovien lisääminen käytäviin muuttaa savun käyttäytymistä. Työn ulkopuolelle rajattiin kuitenkin viime vuosina voimakkaasti esillä olleet ongelmat porrashuoneen savunpoiston toteutuksessa, kuten mm. Turussa (Tutkintaselostus 2014) ja Tampereella (Tutkintaselostus 2010) sattuneet palot ovat osoittaneet. Tampereella sattuneessa palossa porrashuone täyttyi voimakkaasti savusta ja laaditussa raportissa porrashuoneen savunpoiston katsottiin olevan puutteellinen. Tämän pohjalta raportissa suositeltiin porrashuoneet varustettaviksi automaattisesti tai alhaalta manuaalisesti avattavilla savunpoistoluukuilla. Turun palossa porrashuone oli varustettu Tampereen palosta laaditun raportin mukaisella automaattisesti avautuvilla savunpoistoluukuilla, mutta tämä suurensi palon vaikutusta. Automaattisesti avautuneet savunpoistoluukut yhdessä palavan asunnon avonaisen kerrostaso-oven ja asunnosta palon hajottaman ikkunan kanssa aikaansaativat palokaasujen imeytymisen ja voimakkaan (hormimainen) palamisen porrashuoneessa. Vaikka tässä työssä ei varsinaisesti huomioitu edellä kuvatun laisten tilanteiden mahdollisuutta, niin aihetta ja yhtä osittaista ratkaisua ongelmaan kuitenkin sivuttiin työssä tehtyjen havaintojen takia.

2 Savun ominaisuudet ja liikkeisiin vaikuttavat tekijät

2.1 Savun määritelmä ja koostumus

Tulipaloissa syntyvän savun määritelmä vaihtelee hieman lähteestä riippuen. Palo- ja pelastussanasto (Suhonen 2006) määrittelee, että savu on ”aerosolimuotoinen palamistuote, joka koostuu palokaasuista, hiukkasmaisista palamistuotteista ja pienistä pisaroista.” ASTM ja NFPA määrittelevät savuun kuuluvaksi myös siihen sekoittuneen ilman (Drysdale 2011, s.441, Mulholland 2008, s.2.291). Lyhyistä määritelmistä huolimatta itse savun koostumus on monimutkainen ja vaihtelee mm. reaktio-olosuhteiden ja polttoaineen mukaan.

Palon kehittymisen alkuvaiheessa paloreaktiot pääsevät tapahtumaan lähes stoikiometrisesti, sillä reaktioiden tarvitsema happipitoisuus täyttyy selvästi ja siksi syntyvä savu sisältää vain vähän nokipartikkeleja ja haitallisia kaasuja. Palon kasvaessa savuun alkaa kuitenkin sekoittua yhä enenevässä määrin ympäröivää ilmaa, joka nähdään savun tilavuuden kasvamisena. Palon kehittyessä edelleen ja varsinkin siirryttäessä polttoainerajoitteisesta happirajoitteiseen paloon, alkaa paloreaktioiden epätäydellinen palaminen tuottaa enemmän haitallisia nokipartikkeleja ja kaasuja. Samalla palon lämmöntuotto myös laantuu.

2.2 Näkyvyys savussa

Palossa syntyvien hiukkasten halkaisijan koon alaraja on muutamia nanometrejä ja vastaavasti yläraja kulkee muutamissa mikrometreissä. Näkyvyyden kannalta savu muodostuu haittaavaksi, kun sen hiukkasten koko kasvaa yli $0,3 \mu\text{m}$:n. Tällöin savupartikkelien koko osuu näkyvän valon aallonpituusalueelle ja ne alkavat hajottaa ja absorboida valonsäteitä. Savun aiheuttama näkyvyyden heikkeneminen vaikuttaa siten haitallisesti sekä ihmisten poistumiseen että pelastushenkilökunnan toimintaan palotilanteissa. Näkyvyyden heiketessä tai kadotessa lähes olemattomiin ihmisten etenemisnopeus hidastuu (Kuva 1) merkittävästi ja samalla mahdollisuus mm. eksymiseen poistumisreitiltä kasvaa. Tästä syystä onkin tärkeää, että poistumis- ja pelastautumisreitit ovat merkitty selkeästi ja asianmukaisesti. Poistumistiemerkkien näkyvyyttä savussa voidaan arvioida esimerkiksi kaavojen (1) ja (2) avulla. Kaavoissa on huomioitu vain savun aiheuttama optinen haitta ja näin ollen esimerkiksi savun silmiä ärsyttävä vaikutus on sivuutettu. Jinin ja Yamadan (2008, s.2.56) valkoisella savulla suorittamat kokeet kuitenkin osoittavat selvästi, että savun ärsyttävän vaikutuksen voidaan todeta alkavan haittaamaan näkyvyyttä sekä kävelynopeutta, kun savun vaimennuskerroin nousee yli $0,25 \text{ m}^{-1}$ (Kuva 1 ja Kuva 2). (Mulholland 2008, s.2.297, Klote ym. 2012, s.177–184.)

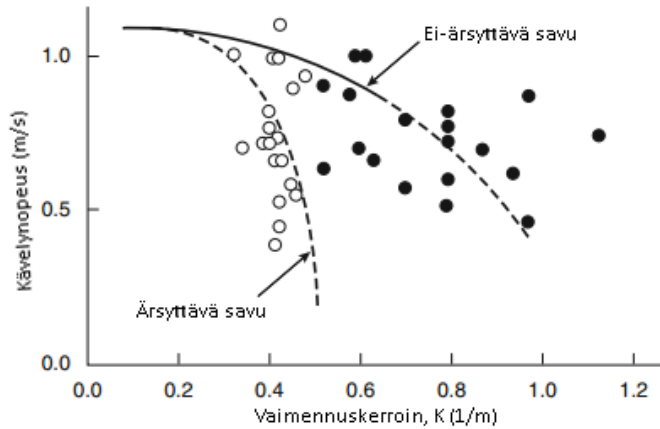
$$K * S = 8 \quad \text{Valaistuille kylteille} \quad (1)$$

ja

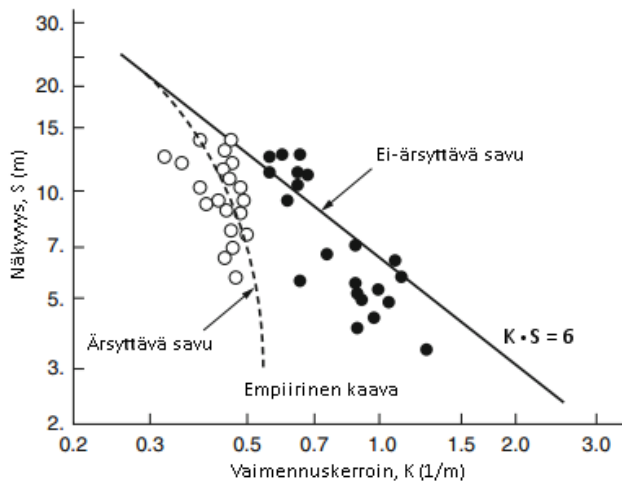
$$K * S = 3 \quad \text{Heijastaville kylteille ja vastaaville objekteille} \quad (2)$$

missä K on vaimennuskerroin [$1/\text{m}$]

S on näkyvyys [m]



Kuva 1. Ärsyttävän ja ei-ärsyttävän savun vaikutukset ihmisten kävelynopeuteen eri savun vaimennuskertoimilla.



Kuva 2. Ärsyttävän ja ei-ärsyttävän savun vaikutukset poistumisopasteiden näkyvyyteen eri vaimennuskertoimilla. Käytetyt kyltit sijoittuvat näkyvyysominaisuuksiensa puolesta valaistujen ja heijastavien kylttien väliin. (Yamada & Akizuki, 2016, s.2190.)

Yksinkertainen tapa vaimennuskertoimen laskemiseen on hyödyntää tietoa palavasta materiaalista ja tilassa olevasta noen massakonsentraatiosta (Kaavan 3). Näin saadun arvon tarkkuus on kuitenkin riippuvainen eri materiaaleille mitatun ja keskiarvostetun ominaisvaimennuskertoimen tarkkuudesta. Esimerkiksi puun ja muovien liekehtivälle palolle Seander ja Einhorn määrittivät ominaisvaimennuskertoimeksi noin $7600 \text{ m}^2/\text{kg}$. Tulos on kuitenkin varsin epätarkka mittauksissa tehtyjen valintojen takia ja siitä syystä Mulhollan ja Croarkin ovat määrittäneet ominaisvaimennuskertoimen arvoksi punaiselle valolle $8700 \text{ m}^2/\text{kg} \pm 1140$. (Mulholland 2008, s.2.297, Klote ym. 2012, s.177–184.)

$$K = K_m * C_s \quad (3)$$

ja

$$C_s = (Y_s * \Delta m_f) / V \quad (4)$$

missä K_m on ominaisvaimennus [m^2/kg]

C_s on noen konsentraatio [kg/m^3]

Y_s on polttoaineen noen tuotto [kg/kg]

Δm_f on polttoaineen massan muutos [kg]

V on tilan tilavuus [m³]

Vaihtoehtoinen menetelmä näkyvyyden arviointiin on laskea se optiseen tiheyteen perustuen. Menetelmässä vaimennuskerroin lasketaan käyttäen eri materiaalien savuille kokeista saatuja optisen tiheyden arvoja (Kaava 5). Näin saadusta arvosta saadaan suoraan laskettua näkyvyys kaavoja (1) ja (2) käyttäen. Kaavojen antamat näkyvyyden arvot ovat kuitenkin hieman epätarkkoja, sillä niissä oletetaan noen konsentraation jakaantuvan tasaisesti koko tilavuuteen. Todellisuudessa suurin konsentraatio olisi katon rajassa, ja vain vähäinen määrä nokea sijaitisi liekkien alapuolella. (Mulholland 2008, s.2.297, Klote ym. 2012, s.179.)

$$K = 2.303 * (D_m \Delta m_f) / V \quad (5)$$

missä D_m on polttoaineen savulle mitattu optinen tiheys [m²/kg]

2.3 Savun myrkyllisyys

Savun myrkyllisyyttä arvioitaessa jaetaan sen sisältämät aineet yleensä lamaannuttaviin ja ärsyttäviin aineisiin. Lamaannuttavat kaasut pyrkivät syrjäyttämään verenkierrossa hapen ja johtavat siksi tajunnan menetykseen ja tätä kautta mahdolliseen menehtymiseen tulipalossa. Lamaannuttavien aineiden vaikutus riippuu niiden konsentraatiosta tilassa sekä altistumisajasta näille aineille. Ärsyttävät aineet taas esiintyvät yleensä limakalvojen ja ihon ärsytyksenä, aiheuttaen esimerkiksi oksennusreaktioita. Ärsyttävien aineiden oireiden esiintymiseen vaaditut pitoisuudet ovat kuitenkin hyvin pieniä ja siksi jo hyvinkin lyhyt altistuminen voi aiheuttaa oireita. (Purser & McAllister 2016, s.2329.)

Tavanomaisen savun yleisimmät lamaannuttavat kaasut ovat hiilimonoksidi ja vetysyanidi. Näistä hiilimonoksidi esiintyy savussa suurempina määrinä kuin vetysyanidi ja sitä pidetäänkin suurimpana yksittäisenä tulipalojen yhteydessä kuolemaan johtavana tekijänä, vaikka väitettä onkin hieman kyseenalaistettu (Klote ym., 2012, s.171; Stec & Hull 2010, s.131). Myrkyllisyyttä vertaillessa taas vetysyanidi on huomattavasti vaarallisempaa, sillä vain kahden minuutin altistuminen 200 ppm pitoisuudelle vetysyanidia johtaa tajunnan menetykseen (Purser 2008, s.2.118). Vastaava pitoisuus hiilimonoksidille on noin 3000–7000 ppm, mutta pienempinäkin pitoisuuksina molemmat alkavat haitata ihmisen toimintaa altistumisajan kasvaessa (Purser 2008, s.2.116). Altistumista vetysyanidille on kuitenkin hyvin hankala erottaa altistumisesta hiilimonoksidille, koska mikäli palossa syntyy vetysyanidia, syntyy aina myös hiilimonoksidia (Stec & Hull 2010, s.160). Tämän lisäksi vetysyanidin konsentraatio veressä laskee hyvin nopeasti altistumisen loputtua ja siksi uhreista kuin myös pelastautuneista ihmisistä mitatut arvot eivät välttämättä anna todellista kuvaa palon aikana tapahtuneesta altistumisesta vetysyanidille ja vääristävät osaltaan näiden kahden kaasun keskinäistä merkitystä (Stec & Hull 2010, s.131).

Hiilimonoksidin ja vetysyanidin lisäksi savu sisältää myös runsaasti hiilidioksidia ja happea. Hiilidioksidi ei sinällään ole myrkyllinen, mutta sen konsentraation kasvaessa yli 2 % (20 000 ppm) aiheuttaa se hyperventilaatiota, joka lisää altistumista muille savussa ole-

ville kaasuille. Vaikka tajunnan menetykseen liittyy hapen puute, ei itse savun happipitoisuus yleensä laske tarpeeksi alhaiseksi aiheuttaakseen yksin tajunnan menetyksen. Jotta alhainen happipitoisuus yksin aiheuttaisi ongelmia, tulisi sen pitoisuuden laskea lähelle 10 %. (Purser 2008, s.2.123.) Edellä mainituista arvoista, niin hiilimonoksidille, vetysyanidille, hiilidioksidille ja muillekin savun sisältämille aineille, tulee kuitenkin huomata, että ne kuvaavat keskivertoihmisen sietorajoja ja siksi raja-arvot voivat vaihdella suurestikin eri yksilöiden välillä. Tästä syystä ei olekaan järkevää tarkkailla yksittäisen ainesosan raja-arvon ylittymistä, vaan parempi ratkaisu on keskittyä näiden kaikkien kaasujen aiheuttaman yhteisvaikutuksen tutkimiseen. Tätä yhteisvaikutusta voidaan arvioida ns. FED-arvon avulla (Kaava 6). Siinä eri kaasuille lasketut osuudet rajapitoisuuksista lasketaan yhteen ja kun osasumman arvo nousee yli yhden, oletetaan että puolet ihmisistä menettää tajuntansa. (Purser & McAllister 2016, s.2324.)

$$FED = \sum_{i=1}^n \int_0^t \frac{C_i}{(Ct)_i} \Delta t \quad (6)$$

missä C_i on i:nnennen myrkyllisen aineen konsentraatio [g/m³]

Ct on i:nnennen aineen toksikologisia vaikutuksia aiheuttava annoskoko [min*g/m³]

Δt on valittu aika-askeleen pituus [min]

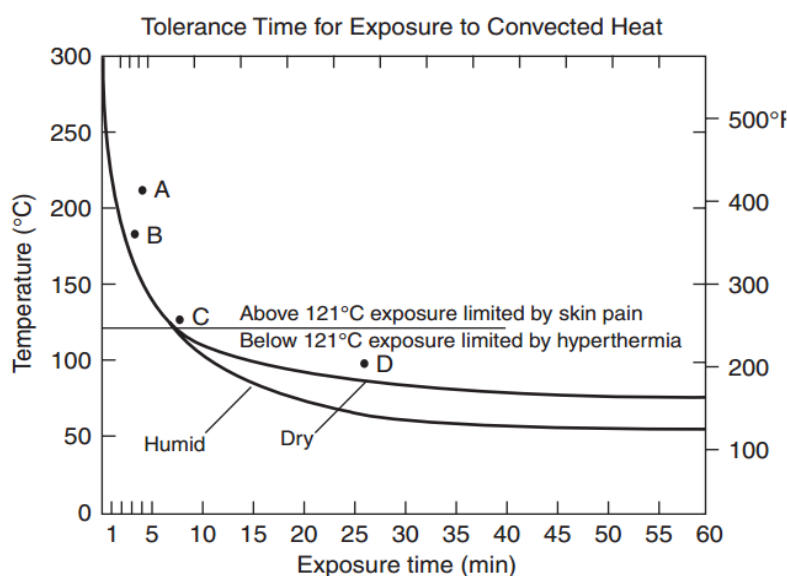
Savun sisältämien ärsyttävien aineiden vaikutus ei uhkaa samalla tavalla ihmisten henkiä kuin lamaannuttavat aineet, vaan niiden vaarallisuus ilmenee poistumista hidastavana ja haittaavana tekijänä. Tämä ei tietenkään tarkoita, etteikö altistuminen joissain tilanteissa ärsyttävillä aineille voisi johtaa myös kuolemaan, joko välillisesti tai suoraan. Savun sisältämiä ärsyttäviksi luettavia aineita ovat esimerkiksi suolahappo, bentseeni, akroleiini ja vetybromidi. Tutkimalla eri materiaalien happirajoitteisissa paloissa syntyviä savukaasuja, on niiden sisältämien ärsyttävien aineiden jakauman havaittu muistuttavan toisiaan jossain määrin, mutta mitään kaikkia koskevaa päätelmää ei niistä ole pystytty tekemään. Näiden ärsyttävien aineiden vaikutusta ihmisten toimintaan on tutkittu lisäksi eläinkokeiden avulla ja näin on saatu arvioitua eri aineiden ihmiselle vaaralliset altistumisajat ja -konsentraatiot. Vaikka nämä altistumisrajat näille aineille eivät palotilanteissa nousisikaan yli arvioidun enimmäisarvon, voivat pitkäaikaisseuraamukset kuitenkin olla vakavat. Yksiselitteistä turvallista altistumisarvoa onkin tästä syystä miltei mahdotonta määrittää. (Purser 2008, s. 2.125-2.130.)

2.4 Savun lämpötila

Kuumille savukaasuille altistumisesta seuraavat vaikutukset ja niiden vakavuus riippuvat useista tekijöistä, kuten kaasun lämpötilasta ja sen ominaislämpökapasiteetista, altistumisajasta, vaatetuksesta, suhteellisesta kosteudesta ja aktiivisuudesta. Näistä tekijöistä riippuen seurauksena voi olla muun muassa palovamma iholle tai hengitysteissä, lämpöhalvaus, hetkellinen kivuntunne tai mahdollisesti kaikki edellä mainitut samanaikaisesti. (Purser 2008, s. 2.139-2.140.) Kaasujen lämpöenergia siirtyy ihmisiin käyttäen kaikkia kolmea lämmönsiirtymisen mekanismia: johtumista, konvektiota ja säteilyä. Näistä mekanismeista johtumisen ja säteilylämmönsiirron aiheuttamat vaikutukset rajoittuvat vain ihoon ja pintakudoksiin, kun taas konvektiivisesti kaasuista siirtyvä lämpöenergia kykenee lisäksi etenemään aina hengitysteihin asti ja

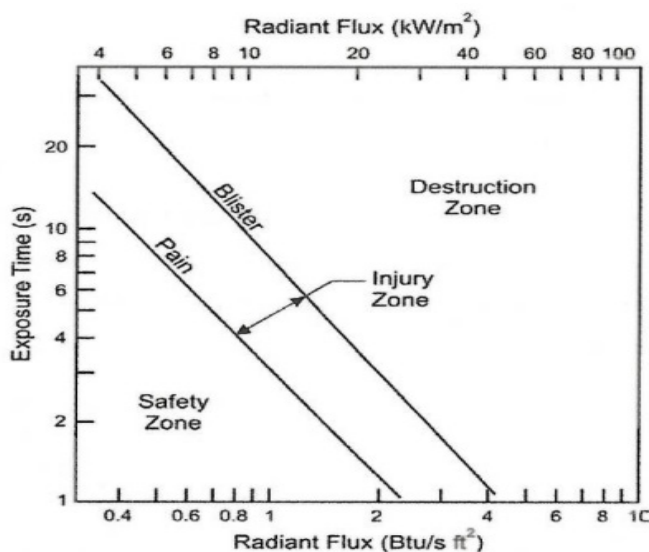
vaurioittamaan niitä. Näistä mekanismeista konvektiivista lämmönsiirtymistä voidaan pitää hallitseva, alhaisissa alle 200 °C:n lämpötiloissa. Tätä korkeammissa lämpötiloissa hallitsevaksi nousee sen sijaan säteilylämmönsiirto. Johtumalla siirtyvä lämpöenergia aiheuttaa vaurioita, kun lämpötila iholla nousee yli 43 °C:n. Tähän vaikuttavat kappaleen lämpötilan lisäksi materiaalin lämpöhitaus, eli sen lämmönjohtavuuden, tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin tulon neliöjuuri. Siksi saman lämpöinen metallikaide tuntuu kuumemmalle kuin vastaava samassa lämpötilassa oleva puukaide. (Purser 2008, s. 2.141.)

Lämpötila ja altistumisaika ovat kaksi tärkeimmistä tekijöistä savun kuumuuden vaikutusta ihmisiin arvioitaessa. Altistuessaan pitkäkestoisesti yli 40 °C:n lämpötiloille kasvaa lämpöhalvauksen riski (Kuva 3). Toisaalta lämpötilan noustessa yli 120 °C:n kasvaa kivun tunne nopeammin yli siedettävän rajan kuin lämpöhalvauksen muodostumiseen tarvittava aika. Siihen, kuinka nopeasti lämpöhalvaus muodostuu pelastautumista haittaavaksi, vaikuttaa paljon esimerkiksi kaasun lämpötila, suhteellinen kosteus, vaatetus ja ihmisten aktiivisuus. Runsas aktiivisuus ja vaatetuksen eristävä vaikutus nostavat kehon lämpötilaa korkeammaksi ja mahdollistavat lämpöhalvauksen lyhemässä ajassa. Vastaava vaikutus on myös korkeammalla suhteellisella kosteuspitoisuudella, jolloin hikoilu ja sen viilentävä vaikutus heikkenevät. (Purser 2008, s.2.140.)



Kuva 3. Alastoman ja levossa olevan ihmisen lämmönsietokyky kostealle sekä kuivalle ilmalle, kun ilmavirran nopeus pysyy alle 30 m/min (Purser 2008, s.2.140.)

Lämpötilan noustua yli 120 °C:een alkavat sekä palovammojen todennäköisyys että säteilylämmönsiirron merkitys kasvaa. Lämpösäteilyn sietorajana voidaan pitää 2,5 kW/m², joka vastaa noin 200 °C:sta savupatjaa. Säteilyn voimakkuuden tästä kasvaessa siedettävä altistumisaika laskee pian vain muutamiin sekunteihin (Kuva 4). Ihmisten kokemaan lämpövirran tiheyteen vaikuttaa kuitenkin paljon muun muassa päällä oleva vaatetus. Alhaisemmissa lämpötiloissa vaatteet ovat epäedullisia eristävän vaikutuksen takia, mutta korkeammissa lämpötiloissa vaikutus muuttuu edulliseksi. Vaatteiden suojaavaa vaikutusta huomioidessa tulee kuitenkin muistaa, että esimerkiksi pää ja kasvot ovat lähes poikkeuksetta poistumistilanteessa suojaamatta. (Purser 2008, s.2.141-2.142.)



Kuva 4. Paljaan ihon sietämä lämpösäteily (Klote ym.2012 s.176.)

Toimintakyvyn menetystä savun aiheuttaman lämpörasituksen tapauksessa voidaan arvioida samankaltaista menetelmää käyttäen kuin myrkyllisyyttä arvioitaessa. Ihmisten kokema lämpökuorma jaetaan konvektiivisen (Kaava 8) ja säteilylämmönsiirron kestoai-
koihin (Kaava 9), joiden yhteisvaikutusta voidaan arvioida kaavan (7) avulla. (Purser 2008, s.2.145.)

$$FED = \int_0^t \left(\frac{1}{t_{rad}} + \frac{1}{t_{conv}} \right) \Delta t \quad (7)$$

missä t_{rad} on lämpösäteilyn sietoaika [min]

t_{conv} on konvektiivisen lämmönsiirron sietoaika [min]

Lämpösäteilyn ”altistumisajan” ollessa noin $1,3-1,7 \text{ (kW/m}^2)^{4/3}$, ihminen alkaa kokea säteilyn kivuliaana ja vastaavasti palovammoja ilmaantuu arvon ollessa yli $4 \text{ (kW/m}^2)^{4/3}$. Ihmisen kestävä konvektiivisen sekä säteilylämmönsiirron ”sietoaika” voidaan laskea kaavojen (8) ja (9) avulla.

$$t_{rad} = \frac{133}{q^{1.33}} \quad (8)$$

ja

$$t_{conv} = 5 * 10^7 * T^{-3,4} \quad (9)$$

missä q on säteilyvirran tiheyden suuruus [kW/m^2]

T on lämpötila [K]

Kuuman savun aiheuttamat vauriot eivät rajoitu vain ulkoisiin palovammoihin, vaan vaurioita voi esiintyä aina syvällä hengitysteissä asti. Joutuessaan hengitysteihin kuumat kaasut aiheuttavat samankaltaisia palovammoja kuin savun sisältämät myrkylliset ja ärsyttävät aineet. Siksi onkin usein vaikeaa, ellei mahdotonta erotella kumpi syy on aiheut-

tanut hengitysteiden vauriot. Erilaisten kuumien kaasujen aiheuttamien vaurioiden välillä on kuitenkin yksi selkeä ero. Mikäli kaasun ominaislämpökapasiteetti on suhteellisen alhainen, aiheuttaa se vaurioita vain ylempiin hengitysteihin, kun taas esimerkiksi kosteampi ja saman lämpöinen kaasu voi aiheuttaa vaurioita aina keuhkojen sisäosiin asti. Tämä ero selittyy kosteamman kaasun suuremmalla ominaislämpökapasiteetilla, jonka takia se sisältää enemmän energiaa kuin yhtä kuuma, mutta pienemmän ominaislämpökapasiteetin omaava kaasu. Molemmissa tapauksissa vaaditaan kuitenkin kaasulta riittävän korkeaa lämpötilaa vaurioiden syntymiseen. Tähän vaadittu kaasun lämpötila on kuitenkin yleensä jo niin korkea, että se aiheuttaa ulkoisiakin palovammoja ja siksi hengitysteiden palovammat eivät voi käytännössä esiintyä yksistään. Hengitysteiden palovammojen seuraukset liittyvät usein ulkoisten palovammojen ja muiden savun sisältämien haitallisten aineiden yhdessä synnyttämiin oireisiin, jotka aiheuttavat hengen- vaaran vasta myöhemmin altistumisen jälkeen. (Purser 2008, s.2.143-2.144.)

2.5 Paloreaktioiden merkitys savun liikkeisiin

Paloreaktioissa vapautuva energia saa reagoivat kaasut lämpenemään laskien niiden tiheyttä, jolloin syntyy savua ylöspäin vievä nostevoima. Rakennusten sisällä savu yleensä kohtaa katon jossain vaiheessa ja tähän kohtaan syntyy kattosuihku (CEN/TR 12101-5 2005, s.10). Alpert (2008) tutki savun käyttäytymistä kattosuihkussa ja laati kaavat virtausnopeuden ja lämpötilan estimointiin. Kokeellisesti saatujen kaavojen mukaan savun virtausnopeus ja lämpötila on suoraan verrannollinen palotehoon ja kääntäen verrannollinen etäisyyteen. Kaavoista saatavia arvioita hyödynnetään mm. sprinklerien ja lämpöilmaisimien suunnittelussa. Ylöspäin nousevat savukaasut muuttavat palotilan painejakaumaa synnyttäen tilan yläreunaan ylipaineen, jolloin savukaasut pyrkivät poistumaan tilan yläosasta kaikkia mahdollisia vuotoreittejä hyödyntäen (Klote ym.2012, s.125). Korkeissa tiloissa tämä vaikutus on usein suhteellisesti suurempi kuin matalammissa tiloissa, kun painejakauman neutraalitaso sijaitsee molemmissa tiloissa samalla tasolla tilan korkeuteen nähden. Tulee kuitenkin huomata, että korkeampi tila myös mahdollistaa savukaasujen voimakkaamman viilenemisen, mikä taas vähentää tilan korkeuden vaikutuksen merkitystä paine-eroon. Syntyvää paine-eroa voidaan arvioida kaavan (10) avulla, jonka todenmukaisuutta tukee Fangin suorittamat kokeelliset tutkimukset (Klote ym.2012, s.112, Drysdale 2011, s.460). Kaavan käyttö kuitenkin edellyttää, että palotilan lämpötilan voidaan olettaa olevan lähes yhtenäinen koko tilassa ja näin keskiarvoisen lämpötilan käyttö on perusteltua. Tällainen oletus on yleensä mahdollista tehdä täysin kehittyneelle palolle. Kaavan käytön yhteydessä tulee kuitenkin huomioida myös, että korkeuden ja paineen suhde tilassa on harvoin näin lineaarinen kuin se on kaavassa esitetty. Tästä huolimatta kaavan avulla saadaan kuitenkin kohtuullinen arvio tilan painejakaumasta.

$$\Delta p_{12} = \frac{g * p_0}{R_{air}} \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right) y \quad (10)$$

missä p_0 on ilmakehänpaine [Pa]

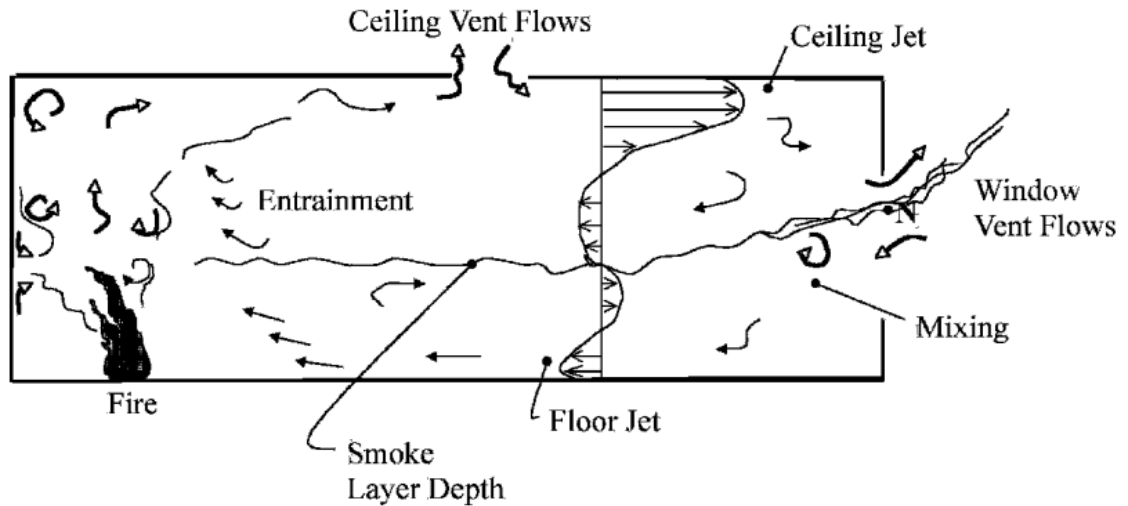
R_{air} on ilman kaasuvakio (~ 287.2) [J/K/kg]

T_a on ympäröivän tilan lämpötila [K]

T_g on palotilan lämpötila [K]

y on tarkastelu korkeus neutraalitasolta (neutraalitaso $y=0$) [m]

Tilan yläosasta poistuva savu aiheuttaa huoneeseen massavajeen. Tämän massavajeen johdosta tilan alaosaan syntyy alipaine, joka pyrkii tasoittumaan imemällä ympäröivistä tiloista uutta viileämpää ja happirikkaampaa ilmaa. Näin kuumemman ylemmän savupatjan alle lattian rajaan muodostuu kattosuihkua muistuttava virtaus (Kuva 5).



Kuva 5. Huonetilan virtaukset (Quintiere 2006, s.343.)

Nosteen lisäksi kuumenevat kaasut myös laajenevat lämpötilan noustessa. Olettamalla savun ominaisuuksien vastaavan kohtalaisesti ilman ominaisuuksia ja kaasujen laajenemisen tapahtuvan isobaarisesti, voidaan savun tilavuusvirtaa tilojen välillä arvioida kaavan (11) avulla. On lisäksi hyvä huomioida, ettei polttoaineen massan vaikutusta tässä yhteydessä huomioida sen vähäisen vaikutuksen takia. Esimerkiksi olettamalla kaasujen lämpötilan nousevan 20 °C:sta 900 °C:n muuttuu kaasun tilavuus nelinkertaiseksi. Samalla on kuitenkin hyvä huomioida, että tällainen tilavuuden ja paineen kasvu edellyttää riittävän suljettua tilaa, jossa on myös riittävästi hapetta paloreaktioille. Tavanomaisten rakennusten yhteydessä näin ei yleensä kuitenkaan ole, vaan paine pääsee poistumaan auki jääneiden ikkunoiden, ovien ja muiden vuotoreittien kautta. Tällöin kaasujen laajenemisen vaikutukset muuttuvat vähäisiksi suuren virtausalan takia. Tätä tukevat muun muassa Tamuran ja Kloten suorittamat testit, joissa mitattiin kaasujen laajenemisen aiheuttamaa paineen kasvua kaasupolttimen avulla. Testeissä paine-ero syttymishetkellä oli suurin, ollen 31 Pa, josta ero laski lähes välittömästi noin 16 Pa ja tästä edelleen kaasujen lämmitessä lisää, siten että paine-ero oli enää 3 Pa kaasun lämpötilan ollessa 500 °C (Hui 1999, s.189). Oman haasteensa voivat kuitenkin tuoda uudet huomattavasti vanhempia taloja tiiviimmät rakennukset, joissa olosuhteet ovat myönteisemmät voimakkaalle paineen kasvulle (Kallada, 2016). Tällaisissa tilanteissa voimakas ylipaine saattaa estää mm. ovien aukaisun ja siten poistumisen palotilasta tai ylipaine voi vaurioittaa rakenteita pysyvästi. Olettamalla palotehon olevan vakio voidaan tällaista paine-eroa arvioida esimerkiksi kaavan (12) avulla, kun vuotoala tiedetään (Svensson 2005, s.40). (Klote ym.2012, s.125–126.)

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{T_e}{T_s} \quad (11)$$

missä V_{out} on savun tilavuusvirta tilasta pois [m³/s]

V_{in} on korvausilman tilavuusvirta [m^3/s]

T_e on pois virtaavan savun lämpötila [K]

T_s on korvausilman lämpötila [K]

$$\Delta p = \frac{Q/(c_p T_e A_e)}{2\rho_e} \quad (12)$$

missä Q on paloteho [kW]

c_p on ilman lämpökapasiteetti vakio paineessa [kJ/kg/K]

T_e on ulosvirtaavan ilman lämpötila [K]

A_e on vuoto-ala [m^2]

ρ_e on ulosvirtaavan ilman tiheys [kg/m^3]

2.6 Hormivaikutuksen merkitys savun liikkeisiin

Kuten edellisessä kappaleessa 2.5 todettiin, kaasujen tiheys alenee niiden lämpötilan noustessa ja ne pyrkivät järjestäytymään gravitaatiokentässä raskaimmasta kevyimpään. Hormivaikutuksen tapauksessa on kyse saman ilmiön aiheuttamasta rakennuksen pystykuilujen, kuten porrashuoneiden, hormien ja hissikuilujen, sisäisestä ilmavirtauksesta, mikä johtuu ulkoilman ja sisäilman lämpötilaerosta. Kun rakennuksen sisäilman lämpötila on selvästi korkeampi kuin ulkoilman, pyrkii sisällä oleva kevyempi ja lämpimämpi ilma nousemaan ylöspäin. Näin rakennuksen vaipan yli muodostuu paine-ero korkeuden funktiona (Kuva 6). Täysin tiiviin rakennuksen tapauksessa neutraalitaso sijaitsee rakennuksen korkeuden puolivälissä. Laskennallisesti tällaisessa tapauksessa syntyvää painejakaumaa voidaan arvioida kaavan (10) avulla, korvaamalla T_a :n ja T_g :n arvot ulko- ja sisäpuolen lämpötiloilla. Tavanomaisen rakennuksen tapauksessa rakennuksen vaippa ei kuitenkaan ole täysin tiivis johtuen sen epäjatkuvuuskohdista, kuten ikkunan raoista, erilaisista saumoista sekä käyttäjistä johtuvista seikoista, kuten avonaisista ikkunoista. Tämän takia normaaleissa tilanteissa neutraalitaso asettuu hieman eri korkeuteen kuin puoliväliin rakennusta. Neutraalitasen paikkaa tällaisissa tapauksissa voidaan arvioida kaavojen (13) ja (14) avulla (Klote ym.2012, s.113). Kaavassa (13) oletetaan koko rakennuksen vuotavan tasaisesti koko korkeutensa matkalta, kun taas kaavassa (14) määritetään neutraalitasen sijainti kahden aukon tapauksessa. Yhdistämällä kaavat (13) ja (14) sekä kaava (10), voidaan näissä yksinkertaisissa tapauksissa syntyvät paine-erot laskea. (Drysedale 2011, s.460–462, Klote ym.2012, s.128–130.)

$$H_N = \frac{H}{1 + (T_{in}/T_{out})^{1/3}} \quad (13)$$

ja

$$H_N = \frac{H_a}{1 + (T_{in}/T_{out})(A_l/A_u)^2} \quad (14)$$

missä H_N on neutraalitasen korkeus [m]

H on rakennuksen korkeus [m]

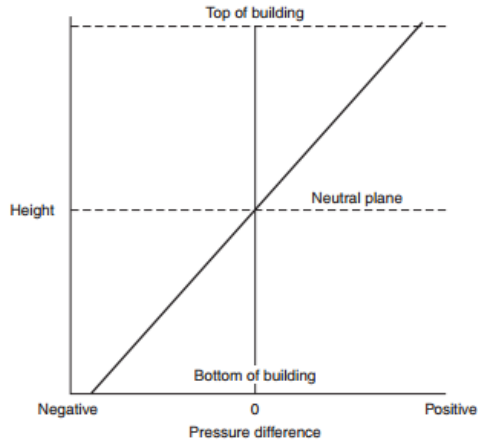
T_{in} on sisäpuolen lämpötila [K]

T_{out} on ulkopuolen lämpötila [K]

H_a on ylä- ja alaosan vuotojen välinen etäisyys [m]

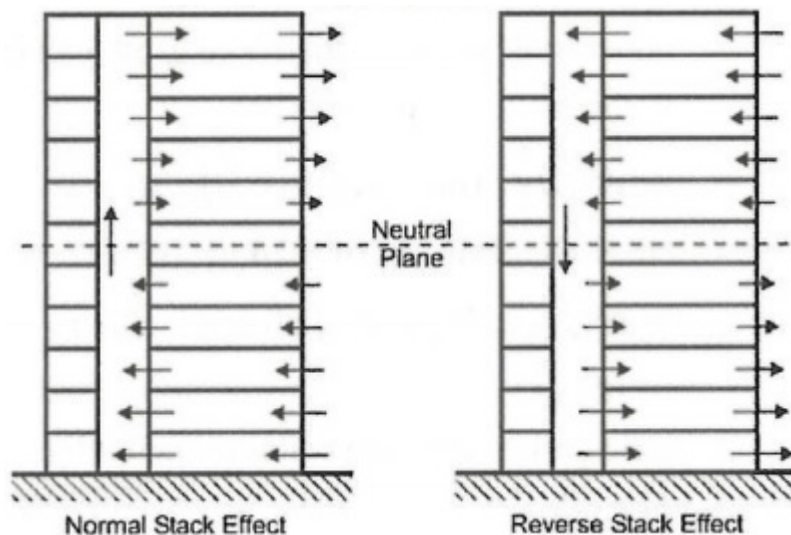
A_u on neutraalitasen yläpuolinen vuotoala [m²]

A_l on neutraalitasen alapuolinen vuotoala [m²]



Kuva 6. Hormivaikutuksen aiheuttama painejakauma (Klote 2008, s. 4.368.)

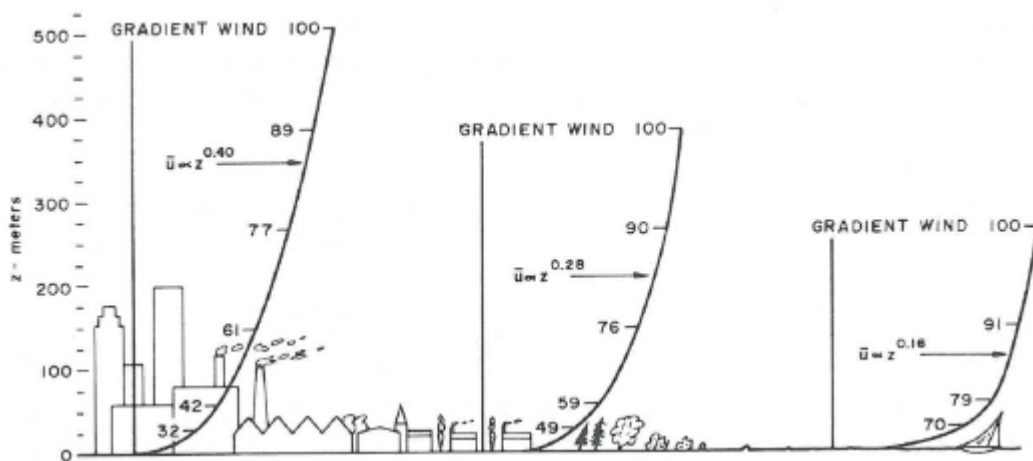
Sopivat olosuhteet tavanomaiselle hormivaikutukselle ovat yleisimmin talviaikaan, jolloin ulkoilma on selvästi sisäilmaa viileämpää (Kuva 7). Ulkoilman lämpötilan noustessa sisäilmaa korkeammaksi, tilanne muuttuu päinvastaiseksi ja ilmavirran suunta kääntyy ympäri ja suuntautuu rakennuksen sisällä ylhäältä alaspäin (Kuva 7). Suomessa kylmä talvi mahdollistaa yleisesti ns. tavanomaisen ylöspäin suuntautuvan hormivaikutuksen, mutta päinvastainen ilmiö kesällä on huomattavasti harvinaisempi. Ilmastonmuutoksen aiheuttaman lämpenemisen ja samalla mahdollisen rakennusten jäähdytyksen yleistyminen voivat kuitenkin kasvattaa myös käännetyin hormivaikutuksen esiintymistä Suomessa.



Kuva 7. Ilmavirtojen suunta (nuolet) normaalin hormivaikutuksen (vasen) ja käänteisen hormivaikutuksen (oikea) tapauksessa (Klote 2008, s.4.368.)

2.7 Tuulenpaineen merkitys savun liikkeisiin

Tuulen synnyttämällä paineella rakennuksen vaipan ympäri voi olla suurikin vaikutus rakennuksen sisäiseen painejakaumaan ja tätä kautta savun kulkeutumiseen (Poreh & Trebukov 2000). Hyvin rakennetut talot ovat kuitenkin tavallisesti varsin tiiviitä, jolloin tuulen vaikutukset ovat harvoin kovin suuria. Tilanne muuttuu kuitenkin oleellisesti, mikäli talon vaipan ilmapuodot rakojen ja muiden huonosti tiivistettyjen saumojen kautta ovat merkittäviä tai muutoin tiiviissä talossa asukkaat pitävät ikkunoita ja ovia auki. Tällöin tuuli pääsee synnyttämään talon sisälle voimakkaita virtauksia, jotka voivat kehittyä jopa niin voimakkaiksi, että ne alkavat dominoida muita ilmapvirtoja. Samankaltainen tilanne voi syntyä myös tulipalon yhteydessä, kun tulipalo särkee rakennuksen ikkunoita ja mahdollistaa palon vuorovaikutuksen tuulen kanssa. Tuulen vaikutus korostuu erityisesti korkeissa rakennuksissa, koska tuulen nopeus kasvaa noustaessa ylöspäin (Kuva 8). Lisäksi myös ympäröivät rakennukset, rakennuksen muoto ja tuulensuunta vaikuttavat painejakaumaan. (Klote 2008, s.4.370, Drysdale 2011, s.463.)



Kuva 8. Maaston vaikutus tuulen keskinopeuden nopeusprofiliin (Kortelainen 2012, s.25.)

Tuulen aiheuttamaa painetta rakennuksen vaippaan voidaan arvioida kaavan (15) avulla (Drysdale 2011, s.463). Tuuli ei kuitenkaan aiheuta kaikkialle samanlaista painetta, vaan tuulen puolelle syntyy ylipaine ja muille sivuille imua aiheuttava alipaine. Kaavassa tämä huomioidaan eri geometrioille ja tuulensuunnille lasketulla tuulenpainejakaumaa kuvaavalla dimensiottomalla kertoimella, jonka arvo vaihtelee yleisesti 0,8 ja -0,8 välillä. (Klote 2008, s.4.370, Klote ym. 2012, s.131–135.)

$$p_w = \frac{1}{2} C_w \rho_0 v_w^2 \quad (15)$$

missä C_w on tuulenpaineen jakautumista kuvaava dimensioton kerroin [-]

ρ_0 ulkoilman tiheys [kg/m³]

v_w on korkeuden mukaan muuttuva tuulennopeus [m/s]

3 Savunpoistomenetelmät ja yksinkertaisten aukkovir- tausten ratkaiseminen

3.1 Savunhallintajärjestelmät

Rakennusten savunhallintajärjestelmiin kuuluvat mm. palo- ja savuosastointi, savukaasujen tuoton rajoittaminen esimerkiksi automaattisen sammutuslaitteiston avulla, savunpoistojärjestelmä, savukaasupitoisuuden laimentaminen sekä suojattavan tilan yli-
paineistus. Näiden lisäksi palokunnalla on käytössä suuntapainepuhaltimia, joilla voidaan mahdollisuuksien mukaan estää savukaasujen virtaus suojattavalle alueelle ja tehostaa savun poistumista. Savunpoistomenetelmät voidaan jaotella kahteen ryhmään: painovoimaiseen ja koneelliseen savunpoistoon. (CEN/TR 12101-5 2005, s.5, Klote 2016, s.1785.)

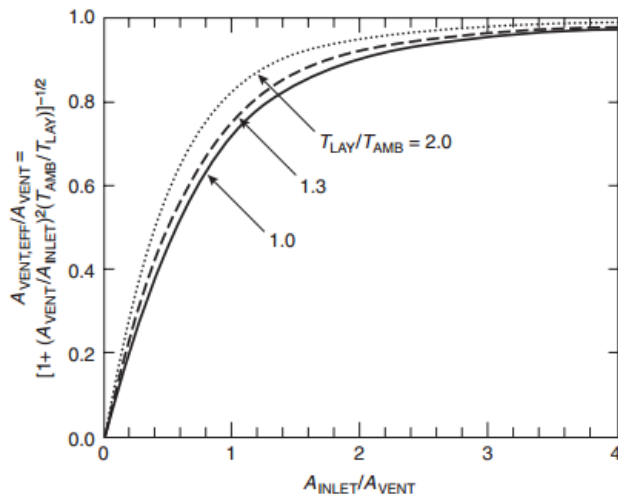
3.2 Painovoimainen savunpoisto

Painovoimaisen savunpoiston toiminta muistuttaa paljon painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa. Molemmissa kaasut saadaan poistumaan tilasta passiivisesti hyödyntäen itsestään syntyviä ilmiöitä, kuten nostetta, hormivaikutusta ja tuulta. Painovoimaisessa savunpoistossa ei tosin luoteta tuulen myönteisiin vaikutuksiin, mutta huomioidaan sen mahdollisesti aiheuttamat negatiiviset vaikutukset savun liikkeisiin. Poikkeuksen tähän tekevät tilanteet, joissa savunpoisto tai savutuuletus toteutetaan avaamalla esimerkiksi ikkunoita rakennuksen seinän alaosasta tuulen puolelta ja vastaavasti yläosasta rakennuksen tuulen alapuoliselta seinältä (Cooper 2002, s.3.226). Näin tuulen aiheuttama paine tehostaa savun poistumista tuulen alapuolisen seinän yläosan aukoista ulos. Hormivaikutuksen huomioinnissa painovoimaisen savunpoiston toimintaan pätee samankaltainen haittojen huomiointi kuin tuulenkin vaikutusten arvioinnissa, sillä sen vaikutukset riippuvat täysin ulko- ja sisätilan lämpötilaerosta ja ovat siksi hankalasti ennakoitavissa. Näin ollen painovoimaisen savunpoiston tehon voidaan ajatella riippuvan vain nosteen vaikutuksesta, jota tuuli ja hormivaikutus saattavat olosuhteista riippuen heikentää tai tehostaa.

Savua kuljettavan nosteen vaikutus kasvaa savun lämpötilan noustessa ja siksi onkin tärkeää, ettei savu pääse jäähtymään liiaksi lämpöhäviöiden takia. Lämpöhäviöitä saadaan kuitenkin pienennettyä jakamalla suuremmat tilat pienempiin savulohkoihin ja lisäksi samalla myös savun leviämistä saadaan rajattua. Toisaalta savun lämpötila ei saa nousta liian korkeaksi, jottei poistuville ihmisille ja rakenteille aiheudu vaaraa. Koska nosteen aiheuttama paine-ero on suurin aivan katon rajassa, on luontevaa sijoittaa savunpoistoluukut tilan yläosaan ja vastaavasti korvausilmaluukut tilan alaosaan.

Savunpoistoluukut voidaan kytkeä aukenemaan manuaalisesti tai vaihtoehtoisesti ne voivat aueta myös automaattisesti. Automaattiset savunpoistoluukut voivat aueta esimerkiksi savuilmaisimen havaittua savua tai luukkuun asennetun lämpösulakkeen lauettua (CEN/TR 12101-5 2005, s.22). Automaatiosta huolimatta kaikki painovoimaisen savunpoiston luukut tulisi mahdollisuuksien mukaan varustaa helposti toteutettavalla manuaalisella avausmahdollisuudella muun muassa mahdollisten vikatilojen takia. Aina tällainen suositeltava toimintatapa ei ole kuitenkaan mahdollinen mm. valmistajan takuuksien takia, jolloin tilanne joudutaan arvioimaan tapauskohtaisesti kokonaisvaltaisen, turvallisen ja toimivan ratkaisun löytämiseksi.

Toimiakseen riittävän tehokkaasti painovoimainen savunpoisto tarvitsee riittävän suuren savunpoistopinta-alan, mutta myös vähintään yhtä suuren korvausilma-alan (Cooper 2002, s. 3.225). Tällöin poistoluukkujen pinta-alasta voidaan olettaa olevan käytössä reilut 70 % (Kuva 9), kun savun lämpötila on hieman ympäröivän ilman lämpötilaa korkeampi. Kasvattamalla korvausilma-aukkojen pinta-alaa noin kaksinkertaiseksi verrattuna savunpoistoluukkujen alaan, päästään jo huomattavasti parempaa yli 90 % käyttöasteeseen. Tämä ero tosin kaventuu selvästi savun lämpötilan kasvaessa, jolloin esimerkiksi yli 1000 °C lämpötiloissa ero on vain noin 10 % (Svensson 2005, s.55). Korvausilma-alan lisäksi tulee myös varmistua, etteivät korvausilman virtausnopeudet pääse kasvamaan liian suuriksi. Mikäli virtausnopeus on liian suuri, se voi alkaa sekoittaa savukerrosta sen alapuoliseen ilmapatjaan tai vetämään savua alaspäin. Virtausnopeudelle suositeltu enimmäisarvo tapauksissa, joissa korvausilma-aukon yläreuna on alle metrin päässä savukerroksen alapinnasta, on 1 m/s (CEN/TR 12101-5 2005, s.46). Toisaalta mikäli ihmisten poistumisreitti kulkee esimerkiksi korvausilmareittinä käytetyn oviaukon kautta, ei Iso-Britannian sisäministeriön suorittamien käyttäytymistutkimuksen mukaan virtausnopeus saa olla yli 5 m/s (CEN/TR 12101-5 2005, s.45).



Kuva 9. Savunpoistoalan tehollisen pinta-alan riippuvuus tulo- ja poistoalasta eri savun ja ulkoilman lämpötilaeroilla (Cooper 2002, s.3.225.)

Pinta-alan lisäksi savunpoiston toimintaan vaikuttaa mm. luukkujen koko ja kuinka ne ovat sijoiteltuna. Mikäli yksittäisen aukon koko on liian suuri savukerroksen paksuuteen nähden, alkaa savunpoistoluukku poistaa myös savukerroksen alapuolista ilmaa, jolloin savunpoiston tehokkuus heikkenee merkittävästi. Ilmiö ei yleensä esiinny painovoimaisen savunpoiston tapauksessa, mutta sen esiintymismahdollisuutta voidaan arvioida Frouden luvun avulla (Kaava 16). Tätä ilmiötä kutsutaan myös sen englanninkielisen termin mukaan *plugholing*-ilmiöksi (Cooper 2002, s.3.228.)

$$F_r = \frac{V_{VENT} A_{VENT}}{\sqrt{g(\rho_a - \rho_g) / \rho_a} * h_g^{5/2}} \quad (16)$$

missä V_{VENT} on keskimääräinen tilavuusvirta aukon läpi [m³/s]

A_{VENT} on aukon pinta-ala [m²]

g on putoamiskiihtyvyyys [m/s²]

ρ_a on ilman tiheys [kg/m³]

ρ_g on savun tiheys [kg/m³]

h_g on aukon alapuolisen savukerroksen paksuus [m]

Näin saadulle Frouden luvulle on määritetty kriittiset arvot, joiden ylittyessä savukerroksen alapuolisen ilman on todettu alkavan poistua luukun kautta. Luukun sijaitessa lähellä savunpoistoalueen keskiosaa käytetään kriittisenä Frouden lukuna 1,5 ja luukun sijaitessa alueen reunalla pienempää 1,1:tä (Ji ym., 2012, s. 6039). Ilmiön esiintymisen mahdollisuus painovoimaiselle savunpoistolle on kuitenkin helpompi todeta käyttäen kaavaa (17). Mikäli kaava pätee, voidaan todeta, ettei tällä ilmiöllä ole merkitystä. Mikäli kaava ei päde on mahdollista, että *plugholing*-ilmiö heikentää savunpoiston tehokkuutta ja vaatii tarkempaa tarkastelua (Cooper 2002, s.3.229.).

$$\sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_g} \frac{A_{VENT}}{h_g^2}} < 0,4 \quad (17)$$

3.3 Koneellinen savunpoisto

Koneellinen savunpoisto eroaa painovoimaisesta siinä, että savunpoistoluukut on korvattu savunpoistopuhaltimilla ja -kanavilla. Koneelliseen savunpoistoon on myös mahdollista yhdistää koneellinen korvausilmajärjestelmä passiivisten korvausilma-aukkojen sijaan. Tällöin savunpoiston ilmapirrret ovat paremmin hallittavissa, mutta haasteen tuovat silti muun muassa avonaiset ovet ja ikkunat. Ongelmaksi saattaa myös syntyä se, että koneellisen savunpoiston ilmapirrret on suunniteltu tietyn kokoiselle ns. suunnittelupalloille. Mikäli todellinen palo kasvaakin tätä suuremmaksi, koneellisen savunpoiston virtausmäärät eivät enää riitäkään savunhallintaan. (Milke 2016, s.1843.)

Tuuli ja hormivaikutus heikentävät koneellisenkin savunpoiston toimintaa samoin kuin painovoimaisen savunpoiston tapauksessa, mutta selvästi vähemmän, koska savua ulos ajava paine-ero ei riipu yksin nosteesta, vaan myös puhaltimien imuvaikutuksesta. Tästä syystä esimerkiksi korkeissa tiloissa tapahtuvaa savun jäähtymisestä seuraavaa kerrostumista ja nosteen vaikutuksen heikkenemistä voidaan pyrkiä kompensoimaan savunpoistokanavilla ja -puhaltimilla. (Milke 2016, s.1842.)

Koneellinen savunpoisto voidaan suunnitella käynnistymään automaattisesti tai manuaalisesti, mutta kuten painovoimaisenkin savunpoiston tapauksessa tulee automaattisen käynnistymisen lisäksi olla mahdollisuus manuaaliseen päälle- ja poiskytkentään. Tämän lisäksi koneellisen ilmanvaihdon ollessa riippuvainen puhaltimien toiminnasta tulee niiden virransaanti ja lämpötilan kestävyys palo-olosuhteissa varmistaa (SFS-EN 12101-10, 2006). Koska koneellinen savunpoisto koostuu yleensä muistakin osista kuin pelkästä puhaltimesta, tulee samalla varmistaa myös näidenkin osien riittävä kestävyys palotilanteissa.

Koneellisen savunpoiston virtausnopeuksien ja imupisteiden valinnassa tulee noudattaa varovaisuutta, jotta savunpoistojärjestelmä toimisi halutulla tavalla. Savunpoiston imupisteiden suuntauksen merkitys korostuu virtausnopeuden ja imupisteiden lukumäärän valinnassa. Suunnattaessa imupisteet horisontaalisesti katosta lattiaan, joudutaan virtausnopeuden ja imupisteiden lukumäärän valinnassa olemaan erityisen tarkkana, jottei savunpoistolla imettäisi ilmaa savupatjan alapuolisesta ilmakerroksesta ja näin heiken-

nettäisi savunpoiston toimintaa. Valitsemalla riittävän monta tällaista imupistettä, yksittäisen pisteen virtausnopeus saadaan laskettua turvalliselle tasolle. (Milke 2016, s.1842.). Vaihtoehtoisesti sijoittamalla imupisteet katon suuntaisesti riski sille, että savunpoisto imisi ns. puhdasta ilmaa pois tilasta on geometriasta johtuen huomattavasti pienempi. Savunpoistoaukkojen sijoittelussa ja suuntauksessa on lisäksi myös huomioitava, etteivät savukaasut suuntaudu palavia pintarakenteita kohden tai ole muutenkaan ristiriidassa palo-osastoinnin kanssa, eikä niiden sijainti saa myöskään vaarantaa poistumisturvallisuutta.

Samoin kuin koneellinen ilmanvaihto myös koneellinen savunpoisto aiheuttaa merkittävän äänilähteen käynnistyttyään. Savunpoiston tapauksessa ilmapirrat ovat kuitenkin moninkertaisia tavalliseen ilmanvaihtoon nähden ja siksi äänenpainetaso nousee selvästi suuremmaksi. Jotta rakennuksessa vielä savunpoistopuhaltimien käynnistymisen jälkeen olevien ihmisten olisi mahdollista kuulla kuulutus- ja hälytysjärjestelmien ohjeet, tulee savunpoistojärjestelmän aiheuttama äänenpainetaso olla selvästi kuulutusten äänenpainetasoa alhaisempi. Mikäli rakennuksessa on käytössä kuulutus- ja hälytysjärjestelmä, suosittelee RIL 232 (2012, s.118), että äänen painetason voimakkuuden desibeleissä tulisi olla vähintään 5 dB matalampi 500 Hz...2000 Hz:n oktaavikaistoilla niillä alueilla joissa on ihmisiä palotilanteissa.

Korvausilman saanti on ehdoton edellytys myös koneellisen savunpoistojärjestelmän toiminnalle. Järjestelmän tarvitseman korvausilman laskennassa tulee huomioida, samoin kuin painovoimaisenkin savunpoiston kohdalla, etteivät virtausnopeudet kasva liian suuriksi ja aukkojen määrä ja sijoitus ovat oikeanlaiset. Lisäksi korvausilmareittien tulee olla avoimet ennen kuin savunpoistopuhaltimet käynnistyvät, jotta poistopuhaltimet eivät pääse vahingossa alipaineistamaan tiloja. Tilojen suunnittelematon alipaineistuminen saattaa vaikeuttaa mm. ovien avaamista ja mahdollisten automaattisten korvausilmaluukkujen avautumista. Mikäli tällaisia automaattisesti avautuvia korvausilmaluukkuja on käytetty, niiden tulee olla myös manuaalisesti avattavissa. (CEN/TR 12101-5 2005, s.23.)

3.4 Paineistus

Paineistuksessa palotilan ja tilojen, joihin savun ei haluta joutuvan välille luodaan paine-ero, jolla savukaasuvirtauksia hallitaan. Tämä paine-ero aikaansaadaan yleensä ylipaineistamalla niin sanotut suojeltavat tilat. Tällaisia puhaltimilla ylipaineistettuja tiloja voivat olla esimerkiksi poistumisreitinä toimivat porrashuoneet ja käytävät. (SFS-EN 12101-6 2005, s.4-7). Jotta ylipaineistus pitäisi suojeltavat tilat vapaina savusta ja siten auttaisi ihmisiä poistumaan rakennuksesta turvallisesti, tulee puhaltimien käynnistyä mahdollisimman aikaisin palon alkuvaiheessa (SFS-EN 12101-6 2005, s.51). Käynnistymisen voi tapahtua esimerkiksi palotilassa olleen savuilmamaisimien reagoitua paloon tai vaihtoehtoisesti järjestelmä voi pitää tilat lievästi ylipaineisina koko ajan, mutta tehostavat ylipaineistusta järjestelmän havaittua palon (SFS-EN 12101-6 2005, s.32). Kuten muissakin automatiikkaan luottavissa järjestelmissä, tulee paineistuspuhaltimien myös olla helposti manuaalisesti päälle ja pois kytkettävissä.

Toimiakseen oikein paineistus tarvitsee myös riittävästi ilman purkautumisreittejä paineistamattomista tiloista ulos. Näin ilmapirta suuntautuu pois päin paineistetuista tiloista ja samalla estää palotilassa muodostuneiden savukaasujen virtauksen kohti paineistettua tilaa. (SFS-EN 12101-6 2005, s.38.) Palon kehityttyä täyden palon vaiheeseen

alkavat savukaasujen lämpötilat olla jo niin korkeita, ettei paineistusjärjestelmää ole järkevää suunnitella enää kokonaan pidättelemään savukaasuja. Ylipaineistuksen tulee kuitenkin pysyä toiminnassa koko ihmisten evakuoitumisen ajan. (SFS-EN 12101-6 2005, s.51.)

Paineistusjärjestelmät eivät kuitenkaan ole mikään ihmeratkaisu poistumisreittien turvaamiseen. Toimintaidealtaan järjestelmä on hyvin yksinkertainen, mutta jotta idea toimisi teorian lisäksi myös käytännössä on niiden suunnittelussa kyettävä huomioimaan useiden tekijöiden kokonaisvaikutus. Useat näistä tekijöistä, kuten vuotoalat, avonaisten ovien lukumäärä ja sääolosuhteet, ovat kuitenkin suunnittelutilanteessa usein vain arvioita, eivätkä näin välttämättä vastaa lopullista rakennusta. Mikäli nämä todelliset ja oletetut arvot poikkeavat toisistaan riittävästi, voidaan paineistusjärjestelmään joutua tekemään suuriakin muutoksia, joilla on kustannuksia nostava vaikutus. Vaikka paineistusjärjestelmä olisikin saatu toimimaan ja se olisi testattu ja hyväksytty, voivat järjestelmään vaikuttavat tekijät kuitenkin muuttua nopeasti ennen mahdollista paloa. Esimerkiksi säätila voi olla aivan erilainen kuin järjestelmän testaustilanteessa tai liian monta ovea ja ikkunaa on auki, jolloin paine-ero ei enää kykene rajaamaan savun leviämistä. Vastaavasti liian tehokas paineistus saattaa aiheuttaa liian suuria paine-eroja, jotka hankaloittavat ja jopa estävät ovien avaamisen. Oven aukaisuun tarvittava voima ei saa ylittää kahvan kohdalla mitattuna 100 N, jotta kuka tahansa kykenisi avaamaan oven poistumistilanteessa ilman suurempia ongelmia. Näitä paineistusjärjestelmän ongelmia on pyritty poistamaan mm. erilaisten paineanturien ja säätyvien puhaltimien tilavuusvirtojen avulla. Näistä yrityksistä huolimatta järjestelmien toimintavarmuuksien on usein todettu olevan heikkoja ja siten aiheuttavan vaaran sekä ihmisten että pelastushenkilöstön turvallisuudelle. (Lay, 2014.)

3.5 Suuntapainepuhallin

Suuntapainepuhallinta tarkoitettaessa yleensä viitataan suurten tilojen, kuten pysäköintihallien ja tunnelien kattoihin sijoitettaviin putkenmallisiin puhaltimiin. Näitä käytetään yleensä tilan ilmanvaihtoon sekä mahdollisen palon savun hallintaan. Tässä työssä viittaukset suuntapainepuhalltimeen eivät kuitenkaan tarkoita tällaista kattoon asennettavaa kiinteää puhallinta, vaan suuntapainepuhalltimeksi kutsutaan myös palokunnan käyttämiä hieman pienempiä siirrettäviä puhaltimia. Palokunta käyttää puhallinta pääsääntöisesti oman toimintansa helpottamiseen ihmisten poistuttua savuntäyttämältä alueelta. Puhaltimen avulla, erityisesti matalissa kohteissa, aikaansaadaan tilaan yli-paine, jolloin savu pyrkii poistumaan tältä alueelta. Samalla tilaan syntyy savuttomia vyöhykkeitä, mikä helpottaa sammutus- ja pelastustoimintaa, mutta myös hillitsee palon leviämistä ja lisäksi ilmavirta myös jäähdyttää palotilaa. Tämän lisäksi puhaltimia voidaan käyttää myös savunpoiston ja sammutustöiden jälkeisen savutuuletuksen tehostamiseen. (RIL 232 2012, s.147–148.)

Suuntapainepuhaltimilla suoritettava palotilan ylipaineistus ja sitä seuraava savun ja lämmön poistuminen tilasta edellyttävät myös palotilaan riittävän suurta savunpoisto-alaa. Huoneistopalossa tällaisina savunpoistoluukkuina suuntapainepuhaltimelle toimivat yleensä asunnon ikkunat. Vaikka puhaltimilla luotua ylipainetta kontrolloidaankin puhaltimen tehoa säätämällä, parhaiten puhaltimen paineistuskapasiteetti tulee hyödynnettyksi, kun poisto- ja tuloalat ovat vähintään yhtä suuret. Tehokkuus kasvaa poistoaukon pinta-alaa kasvatettaessa ja parhaaseen tulokseen päästäänkin, kun poistoalan ja tuloalan suhde on vähintään 2:1. (Svensson 2005, s.63-72.)

Puhaltimella aikaansaadulla ilmavirralla voidaan myös estää palon leviäminen käytävään virtauksen tulosuuntaan päin. Tämä edellyttää kuitenkin riittävän suurta virtausnopeutta, jonka vähimmäisarvon suuruutta voidaan arvioida Thomaksen kehittelemän empiirisen kaavan avulla (Kaava 18). Palon leviämisen estämisellä tällä tavoin on kuitenkin haittansa, sillä virtaus tuo mukanaan uutta happirikasta ilmaa, joka edesauttaa ylläpitämään yhä suurempaa paloa ja siksi sen käyttöä tulisikin välttää. Tätä virtauksen vaikutusta palotehoon voidaankin arvioida Huggetin luoman kaavan avulla (Kaava 19), jossa kaiken virtauksen tuoman hapen oletetaan reagoivan. (Klote 1993, s.9-10.)

$$v_k = 0,292 \left(\frac{Q}{W_{cor}} \right)^{1/3} \quad (18)$$

ja

$$Q_m = 3000 \rho_a v_a A_{cor} \quad (19)$$

missä Q on paloteho käytävään [kW]

W_{cor} on käytävän leveys [m]

ρ_a on ilman tiheys [kg/m³]

Q_m on suurin virtauksen ylläpitämä paloteho [kW]

v_a on ilman virtausnopeus [m/s]

A_{cor} on käytävän poikkileikkausala [m²]

3.6 Virtausmekaniikka

Virtausmekaniikka kuvaa käsitteenä fluidien, eli kaasujen ja nesteiden, tutkimista erilaisissa olosuhteissa (Young ym. 2011, s.2). Savun kannalta oleellisin osa-alue on kuitenkin virtausdynamiikka, joka tutkii liikkuvia fluideja (Young ym. 2011, s.9). Tämän käyttäytymisen perustana toimivat epälineaariset osittaisdifferentiaaliyhtälöt eli Navier-Stokesin yhtälöt (Virtanen 2015, s.5). Vaihtoehtona näiden monimutkaisten yhtälöiden ratkaisulle voidaan käyttää Bernoullin laista johdettua yksinkertaistetun ideaalivirtauksen yhtälöä (Kaava 20). Yhtälön saaminen mahdollisimman yksinkertaiseen muotoon on kuitenkin vaatinut joitakin merkittäviä pelkistyksiä. Yhtälössä ei esimerkiksi huomioida siinä tapahtuvia häviöitä, virtauksen oletetaan säilyvän kokoonpuristumattomana eli sen Machin luku on alle 0,3 ja tämän lisäksi virtausnopeuden oletetaan myös säilyvän vakiona. On kuitenkin selvää, että nämä yksinkertaistukset heikentävät saatuja tuloksia, mutta näin laskettujen arvojen ei ole kuitenkaan havaittu poikkeavan mitenkään merkittävästi kokeellisista arvoista. Voidaankin sanoa, että Bernoullin yhtälöön ja ideaalikaasun tilanyhtälöön perustuvien virtauslaskujen tuloksien tarkkuus on riittävällä tasolla esimerkiksi savukaasujen virtauksien arvioinnissa ja etenkin yksinkertaisten tapausten kohdalla. (Karlsson & Quintiere 2000.)

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + h \rho g = \text{vakio} \quad (20)$$

missä p on virtaavan aineen paine [Pa]

ρ on aineen tiheys [kg/m³]

v on virtaavan aineen nopeus [m/s]

h on korkeus vertailukorkeudesta [m]

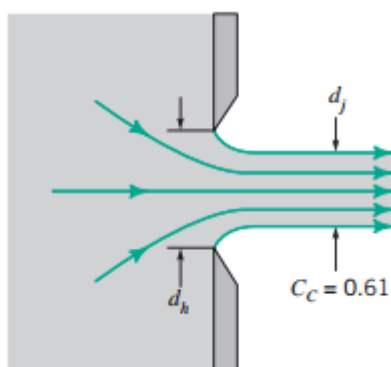
Bernoullin lain mukaan virtauksen kohdatessa aukon sen paine laskee ja tätä kompensoidakseen virtausnopeuden on kasvettava, jotta tilavuusvirta säilyisi samana (Young ym. 2011, s.82). Tätä virtauksen kuristuessa tapahtuvaa ilmiötä kutsutaan *venturi-ilmiöksi*. Tämän lisäksi virtaukselle tapahtuu myös *vena contracta*-ilmiö, mikäli virtauksen läpi kulkeman aukon reunojen voidaan virtauksen mielessä olettaa olevan teräviä. Tällöin ulostulevan virtauksen halkaisija muuttuu pienemmäksi kuin virtausaukon halkaisija (Kuva 10). Tämä johtuu siitä, ettei virtaus kykene kääntymään jyrkästi 90 astetta (Seppälä 2015, s. 32). Jotta Bernoullin yhtälöstä johdettu virtaus huomioisi tämän ilmiön, on massavirran kaavaan lisättävä virtausvastuksen kerroin, joka huomioi tämän virtausaukon ns. tehollisen pinta-alan pienenemisen. Kertoimen arvo on riippuvainen Reynoldsin luvusta, mutta tavanomaisilla savun virtausnopeuksilla sen arvona voidaan käyttää noin 0,6-0,7:ää ja suurelle aukolle arvoa 1 (Karlsson & Quintiere 2000, CEN/TR 12101-5 2005, s.45). Näin esitettynä aukon läpi virtaava massavirta saadaan integroimalla virtausnopeuden ja aineen tiheyden tulo aukon pinta-alan yli kaavan (21) mukaisesti.

$$\dot{m} = C_d \int_A v \rho dA \quad (21)$$

missä C_d on aukosta riippuva virtausvastuskerroin [-]

v on aukon läpi virtaavan aineen virtausnopeus [m/s]

ρ on virtaavan aineen tiheys [kg/m³]



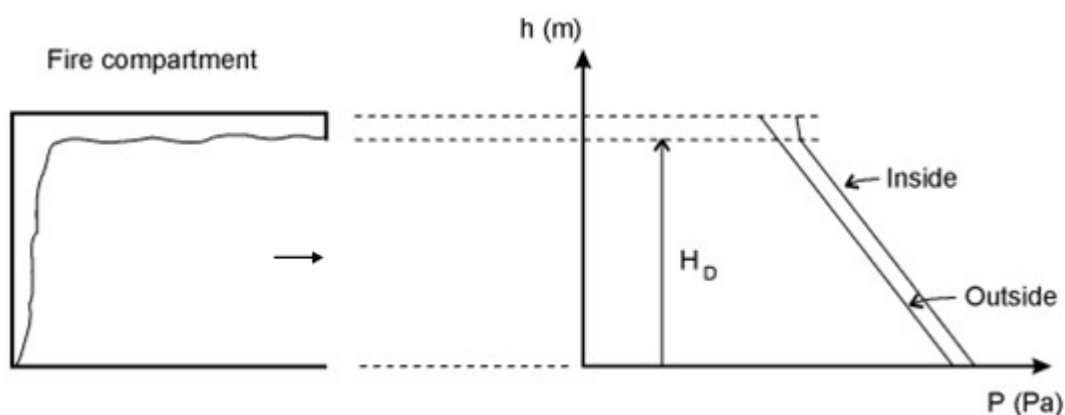
Kuva 10. Virtauksen muutos sen kulkiessa ympyrän muotoisen aukon läpi (Young ym. 2011, s. 83.)

Savunpoistoluukkujen yhteydessä virtausvastuskertoimen arviointi on kuitenkin huomattavasti monimutkaisempaa kuin avonaiselle reiälle ja siksi niille määritetäänkin kertoimen arvo kokeellisesti. Pienillä avautumiskulmilla virtauskerroimen arvo voikin jäädä jopa alle 0,2:n (D+H Mechatronic AG 2013, s.23).

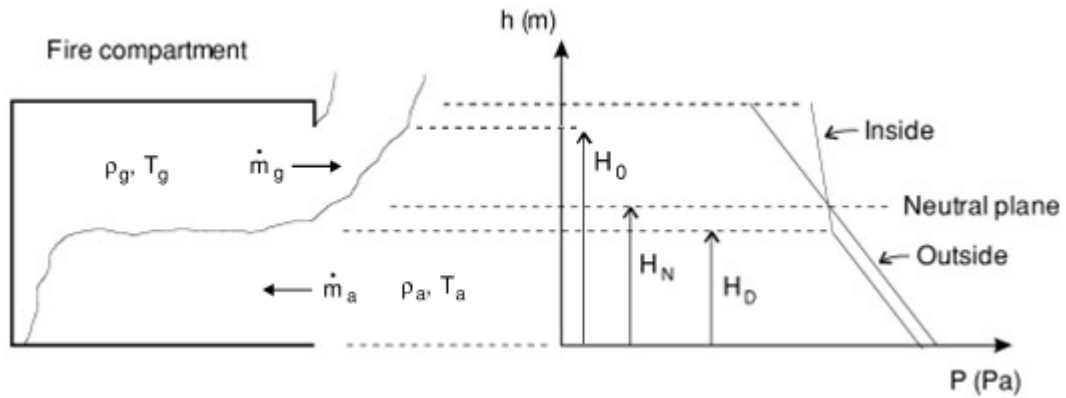
3.7 Savun virtausten arviointi käsinlaskentakaavoilla

Jättämällä huomioimatta kaikki ulkoiset savun liikettä ajavat tekijät kuten tuuli, savun liikettä ohjaavat tällöin vain palosta energiansa saavat nostevirtaus ja kaasujen lämpölaajeneminen. Tällöin virtauksia huonetilasta pois ja sinne voidaan arvioida yksinkertaisille virtaustapauksille suoritettujen kokeiden pohjalta johdettujen kaavojen avulla. Näiden esitettyjen kaavojen virhemarginaali on kuitenkin jopa yli 10 % ja vaakasuoran aukon tapauksessa virhe voi helposti olla yli 50 % vähäisen koedatan takia (Emmons 2008). Tästäkin huolimatta kaavoilla saadaan erityisesti yksinkertaisissa tapauksissa suuntaa antavia arvoja, joita voidaan vertailla esimerkiksi CFD-laskennasta saatuihin arvoihin.

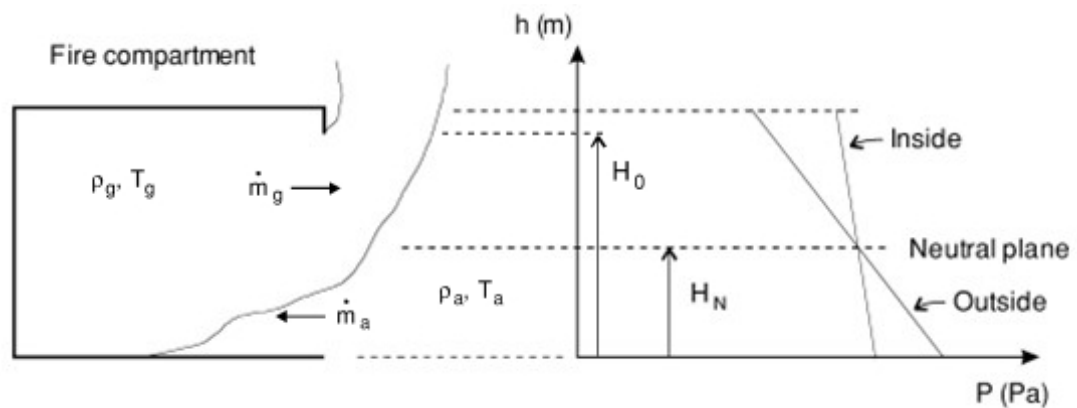
Tulipalon alkuvaiheessa, kun palo ei vielä ole juuri kasvanut, synnyttää kaasujen laajeneminen tilaan ylipaineen, joka pakottaa ilman virtaamaan huoneesta ulos (Kuva 11). Tilanne muuttuu kuitenkin, kun nosteen katonrajaan synnyttämä savukerros on kasvanut ja löytänyt aukon, josta se pääsee poistumaan tilasta. Tällöin syntyvä massavaje aiheuttaa myös palotilaa kohti suuntautuvan virtauksen (Kuva 12). Tällainen tilanne on tyypillistä palon kasvuvaiheelle, kun tilassa on vielä selvästi erotettavissa kuuma ylempi ja viileä alempi kerros. Kerrosten välinen lämpötilaero alkaa kuitenkin kaventua ja lopulta katoaa kokonaan palon kehittyessä ja ylemmän kerroksen kasvettua koko tilan korkuiseksi. Tällöin palo on yleensä jo saavuttanut täyden palon vaiheen ja paine-eron koko tilan korkeuden yli voidaan olettaa olevan lähes lineaarinen (Kuva 13).



Kuva 11. Painejakauma palon alussa, kun savua ei vielä ole poistunut tilasta (Karlsson & Quintiere 2000.)



Kuva 12. Painejakauma, kun savua virtaa tilasta pois, mutta savu ei vielä ole täyttänyt koko tilaa (Karlsson & Quintiere 2000.)



Kuva 13. Painejakauma palotilan ollessa täynnä savua (Karlsson & Quintiere 2000.)

Näistä kolmesta edellä mainitusta tapauksesta ensimmäinen on kestoaltaan muihin verrattuna kuitenkin hyvin lyhytaikainen ja siksi sen tarkastelu tavanomaisen palon tapauksessa onkin yleensä turhaa. Näin ollen on luonnollista keskittyä tarkemmin kahteen jälkimmäiseen tapaukseen. Ensimmäinen näistä tapauksista antaa arvion virtauksista ennen tilan lieskahdusta ja jälkimmäinen lieskahduksen jälkeen. Jotta näistä tapauksista johdettujen kaavojen tarkkuus säilyisi mahdollisimman hyvänä, on ulos ja sisään virtaavan savun ja ilman määrän lisäksi huomioitava paloreaktioiden synnyttämien hiukkasten vaikutus tilan massatasapainoon. Tämä vaikutus on kuitenkin verrattain pieni, joten yleensä sen huomioimatta jättäminen ei vaikuta ratkaisevasti tulosten tarkkuuteen. Kaavojen (22) ja (23) avulla voidaan arvioida tilan virtauksia ennen lieskahdusta ja vastaavasti kaavan (24) antaa arvion lieskahduksen jälkeisen virtauksen määrälle. Jotta ennen lieskahdusta sisään virtaavan ilman massavirta (Kaava 23) saataisiin ratkaistua, on tiedettävä savukerroksen alapinnan korkeus tilassa. Eräs keino on valita haluttu savukerroksen alapinnan taso tai vaihtoehtoisesti neutraalitasoon korkeutta voidaan iteratiivisesti arvioida, mikäli palon massavirta savukerrokseen tiedetään sen alapinnassa. Vastaavaa lähestymistapaa käytetään myös lieskahduksen jälkeiseen tilanteeseen, mutta tilannetta voidaan Rocketin, sekä Thomaksen ja Heseldenin tarkennusten mukaan yksinkertaistaa huomattavasti enemmän (Kaava 25) (Walton & Thomas, 2008, s. 3.207). Sijoittamalla näin kaavasta (25) saatu arvio kaavaan (24), saadaan iteroinnille alkuarvo jonka avulla massavirta saadaan laskettua. (Karlsson & Quintiere 2000.)

$$\dot{m}_g = \frac{2}{3} C_d A_0 \sqrt{H_0} \sqrt{2g} \rho_a \sqrt{\frac{T_0}{T_g} \left(1 - \frac{T_a}{T_g}\right) \left(\frac{1 - H_N}{H_0}\right)^{3/2}} \quad (22)$$

$$\dot{m}_a = \frac{2}{3} C_d A_0 \sqrt{H_0} \sqrt{2g} \rho_a \sqrt{1 - \frac{T_a}{T_g} \left[\frac{H_N}{H_0} - \frac{H_D}{H_0} \left(\frac{H_N}{H_0} + \frac{H_D}{2H_0} \right) \right]} \quad (23)$$

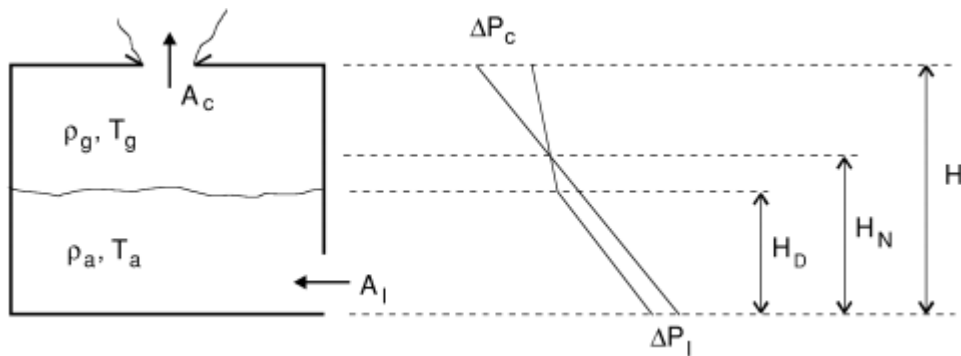
$$\dot{m}_a = \frac{\frac{2}{3} C_d A_0 \sqrt{H_0} \sqrt{g} \rho_a \sqrt{2 \left(1 - \frac{T_a}{T_g}\right)}}{\left[1 + \left[\left(1 + \frac{\dot{m}_b}{\dot{m}_a}\right)^2 / \frac{T_a}{T_g}\right]^{1/3}\right]^{3/2}} \quad (24)$$

missä A_0 on aukkojen pinta-ala [m²]
 H_0 on aukkojen pinta-aloilla painotettu keskimääräinen korkeus [m]
 ρ_a on korvausilman tiheys [kg/m³]
 T_a on korvausilman lämpötila [K]
 T_g on poistuvan savun lämpötila [K]
 H_N on neutraalitasen korkeus [m]
 H_D on savukerroksen alapinnan korkeus [m]

$$\dot{m}_a = k_0 A_0 \sqrt{H_0} \quad (25)$$

missä k_0 on kerroin 0.5 [kg/s/m^{5/2}]

Edellä mainitut kaavat pätevät vain vertikaaleille aukkoille, mutta mikäli halutaan arvioida horisontaalisen luukun virtausta, siihen voidaan käyttää kaavaa (26) ja vastaavasti korvausilman massavirta saadaan kaavasta (27). Kaavat soveltuvat tapaukseen, jossa virtaus kulkee aukon läpi vain yhteen suuntaan (Kuva 14). (Karlsson & Quintiere 2000.)



Kuva 14. Painejakauma poisvirtauksen tapahtuessa katossa olevan aukon kautta (Karlsson & Quintiere 2000.)

$$\dot{m}_c = \frac{C_d A_c \rho_a \sqrt{2g(H - H_D)(T_g - T_a)T_a}}{\sqrt{T_g(T_g + A_c^2 T_a / A_l^2)}} \quad (26)$$

$$\dot{m}_a = C_d A_l \rho_a * \sqrt{\frac{2 * (H_N - H_D)(\rho_a - \rho_g) * g}{\rho_a}} \quad (27)$$

missä A_c on horisontaalisen aukon pinta-ala [m²]

H on huoneen korkeus [m]

ρ_g on savun tiheys [kg/m³]

Edellä esitellyt kaavat (26) ja (27) soveltuvat käytettäväksi, jos olosuhteiden voidaan olettaa säilyvän vakiona eli mm. lämpötilat eivät juurikaan muutu. Mikäli virtauksia halutaan arvioida muuttuvissa olosuhteissa, voidaan vaihtoehtoisesti hyödyntää Karlssonin ja Quintieren (2000) esittelemää iteratiivista menetelmää. Menetelmä huomioi palotehon lisäksi myös lämpöhäviöitä ympäröiviin seinä- ja kattorakenteisiin olettamalla rakenteiden olevan puoliäärettömiä, eli ne eivät vielä ennätä lämpenemään läpi asti ja siksi efektiivinen lämmönsiirtokerroin lasketaan kaavan (28) avulla. Menetelmän alussa suoritetaan alkuarvaus savupatjan korkeudelle z , jonka avulla lasketaan massavirta \dot{m} kylmästä kuumaan kerrokseen (Kaava 29). Tämän lisäksi lasketaan paine-ero Δp korvausilma-aukon kohdalla (Kaava 30) sekä kuuman kerroksen lämpötila T_g (Kaava 31) ja tiheys ρ_g (Kaava 32). Näin saatujen arvojen avulla voidaan laskea kattoluukun läpi kulkeva massavirta (Kaava 33), jonka tulisi vastata massavirtaa kylmästä kuumaan kerrokseen (Kaava 29). Mikäli näin ei ole tulee arvausta savukerroksen korkeudesta z muuttaa. (Karlsson & Quintiere 2000.)

$$h = \sqrt{\frac{k\rho c}{\pi t}} \quad (28)$$

missä k on materiaalin lämmönjohtavuus [W/K/m]

ρ on materiaalin tiheys [kg/m³]

c on materiaalin ominaislämpökapasiteetti [J/kg/K]

t on savukerroksen muodostumisaika, tavallisesti noin 10 min [s]

$$\dot{m} = \dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} Q^{1/3} z^{5/3} \quad (29)$$

missä Q on paloteho [kW]

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti [J/kg/K]

z on savukerroksen alapinnan korkeusasema [m]

$$\Delta P_l = \frac{\dot{m}^2}{2\rho_a (C_d A_l)^2} \quad (30)$$

ja

$$T_g = T_a + \frac{Q}{c_p \dot{m}_e + h A_w} \quad (31)$$

missä \dot{m}_e on kattoluukusta ulos virtaava massavirta [kg/s]

A_w on savun kanssa kontaktissa oleva katon ja seinän pinta-ala [m²]

$$\rho_g = \frac{P_0 M_i}{R T_g} \quad (32)$$

missä P_0 on normaali ilmanpaine [Pa]

M_i on ilman moolipaino [g/mol]

R on yleinen kaasuvakio [J/mol/K]

$$\dot{m}_c = C_d A_c \sqrt{2 \rho_g \left(-\Delta P_l + (\rho_a - \rho_g) g (H - z) \right)} \quad (33)$$

3.8 Lämpötilojen arviointi käsinlaskentakaavoilla

Palon tilaan synnyttämää lämpötilaa ennen yleissyttymisen tapahtumista voidaan arvioida esimerkiksi McCaffreyn, Quintieren ja Harkleroadin kehittämän mallin avulla (Kaava 34). Koska kaavat pohjautuvat polttokokeista saatuihin tuloksiin, ovat niillä saadut tulokset valideja vain tietyntilaisissa olosuhteissa. Palotilan tulee olla tavanomaisen kokoinen huone ja palolähteen tulee sijaita riittävän kaukana huoneen seinistä. Tämän lisäksi lämpötila saa nousta enimmillään vain 600 °C:seen ja palon tulee säilyä tämän ajan polttoainerajoitteisena. Kokeissa käytettyjen huoneiden korkeus vaihteli välillä 0,3-2,7 m ja niiden pinta-ala 0,14–12 m² välillä. (Walton & Thomas 2008, s.3.209.)

$$\Delta T = 1,63 * T_a \left(\frac{Q}{\sqrt{g} \rho_a c_p T_a A_o \sqrt{H_0}} \right)^{2/3} \left(\frac{h_k A_T}{\sqrt{g} \rho_a c_p A_o \sqrt{H_0}} \right)^{-1/3} \quad (34)$$

missä h_k on efektiivinen lämmönsiirtokerroin [W/m²/K]

A_T on sisäpintojen yhteenlaskettu pinta-ala, josta on vähennetty aukot [m²]

Kaava (34) saadaan yksinkertaisempaan muotoon sijoittamalla siihen normaalin 20 °C ilman ominaisuudet ($g = 9,81 \frac{m}{s^2}$, $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1,05 \text{ kJ/(kg * K)}$, $T_a = 295 \text{ K}$).

$$\Delta T = 6,85 \left(\frac{Q^2}{A_o \sqrt{H_0} h_k A_T} \right)^{1/3} \quad (35)$$

Mallissa otetaan huomioon myös energiahäviöt tilan rakenteisiin, jotka esimerkiksi betonirakenteiden kohdalla voivat olla suuriakin. Tämä tapahtuu laskemalla lämmöntunkeutumisaika (Kaava 36) rakenteisiin ja sen pohjalta lasketun efektiivisen lämmönsiirtokertoimen avulla (Kaava 37 ja 38). Mikäli rakenteet koostuvat eri materiaaleista, saadaan kertoimet laskettua pinta-aloilla painotettuina keskiarvona. Vastaavasti myös

useista kerroksista koostuvan rakenteen efektiivinen lämmönsiirtokerroin on mahdollista laskea käyttämällä hyväksi sarjassa olevien lämmönvastusten laskentamenetelmää. (Karlsson & Quintiere 2000.)

$$t_p = \frac{\rho c \delta^2}{4k} \quad (36)$$

missä δ on materiaalin paksuus [m]

k on materiaalin lämmönjohtavuus [W/m/K]

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad , t < t_p \quad (37)$$

$$h_k = \frac{k}{\delta} \quad , t \geq t_p \quad (38)$$

Mallin avulla on mahdollista myös arvioida palotilan lieskahdukseen tarvitsemaa palotehoa. Kaavasta (34) ratkaistaan paloteho olettamalla lieskahduksen tapahtuvan 500 °C:ssa. Vaihtoehtoisesti lieskahduksen tarvitsemaa palotehoa voidaan arvioida Babrauskasin menetelmän avulla. Siinä tarvittavan palotehon arvioidaan olevan noin 50 % lieskahtaneen tilan stoikiometrisestä maksimipalotehosta (Kaava 39). Tilan maksimipaloteho lieskahduksen jälkeen on johdettu olettamalla, että palo on happirajoitteinen ja tuottaa 13,2 MJ energiaa palavaa happikiloa kohden. (Walton & Thomas 2008, s.3.218.)

$$Q_{max,stoich} = 1500A_0\sqrt{H_0} \quad [kW] \quad (39)$$

missä A_0 on aukkojen pinta-ala [m²]

H_0 on aukkojen pinta-aloilla painotettu keskimääräinen korkeus [m]

4 Kirjallisuudesta löytyvät kokeelliset tutkimukset

4.1 *Paloteho*

Paloteho on tärkein yksittäinen paloa kuvaava parametri, joka toimii ns. paloa ylläpitävänä moottorina (Babrauskas, 2016a, s.799). Useat muut paloparametrit kuten savun ja noen tuotto ovat vastaavasti suoraan kytköksissä palotehoon. Palotehon kasvaessa kasvaa samalla myös palavan aineen massan muutosnopeus sekä palossa vapautuvan energian määrä. Suurempi vapautuva energiamäärä taas nostaa savukaasujen ja ympäröivän ilman sekä pintojen lämpötiloja.

Palotehojen ns. nykyaikaisen tarkan kokeellisen mittauksen voidaan ajatella alkaneen 1970-luvulla, kun ensimmäiset pienen mittakaavan kalorimetrit kehitettiin (Babrauskas, 1991, s.262). Näistä ehkä tunnetuin ja vieläkin yleisesti käytetty on Babrauskasin kehittämä kartiokalorimetri, joka perustuu paloreaktioiden aiheuttamaan hapen muutoksen mittaukseen. Palotehon lisäksi kartiokalorimetrillä pystytään mittaamaan myös muita keskeisiä parametreja, kuten materiaalien lämpöarvoja ja massan muutosnopeuksia. (Babrauskas, 2016b, s.952.) Näin saatujen mittaustulosten avulla kyetään arvioimaan eri materiaalien palotehoja ja käyttäytymistä todellisen kokoisessa palossa. Koelaitteiston edellyttämä pieni näyteko ja tasomainen geometria aiheuttavat kuitenkin sen, ettei pienen mittakaavan koejärjestelyillä pystytä ottamaan huomioon aivan kaikkia todellisen mittakaavan ilmiöitä. Pienen mittakaavan koejärjestelyjen rajoitteiden poistamiseksi ja palotapahtumien kokonaisvaltaisemman ymmärtämisen takia kalorimetrien mittakaavaa kasvatettiin ensin siten, että laitteistolla kyettiin mittaamaan yksittäisten esineiden palotehoja ja lopulta koko huoneistopalon paloteho. (Babrauskas, 2016a, s.799.) Näin mm. todellisen geometrian ja suljetun tilan vaikutus palotehoon saadaan huomioitua. Pelkkien seinien ja katon lisääminen palavan esineen ympärille muuttaakin merkittävästi jo yksittäisenkin huonekalun palotehoa (Young 2007, s.28). Palotehokuvaajia tällaisille suuremman mittakaavan kokeille löytyy runsaasti. Särdaqvist (1993), Bwalya ym. (2015) sekä Hietaniemi (2007) ovat esimerkiksi listanneet tavanomaisten huonekalujen ja muiden asunnoista löytyvien esineiden palotehoja. Blomqvist ym. (2004) taas suorittivat palokokeita 16 m² sisustetulle asuinhuoneelle tutkiakseen palokaasujen koostumusta, mutta mittasivat myös samalla syntyvät palotehot.

4.2 *Hiilimonoksidin tuotto*

Kuten jo aikaisemmin todettiin, on palossa vapautuvalla hiilimonoksidin määrällä keskeinen asema arvioitaessa savukaasujen aiheuttamaa uhkaa ihmisille. Tästä syystä kirjallisuudesta löytyykin useita malleja ja koejärjestelyjä, joilla on pyritty määrittämään hiilimonoksidin tuottoa mm. erilaisille paloille sekä materiaaleille. Huoneistopalojen tapauksessa tämä tarkoittaa lähinnä erilaisten huonekalujen ja muun irtaimiston palaessa tuottamaa hiilimonoksidia.

Palossa syntyvää hiilimonoksidin määrää alettiin tieteellisesti tutkia 1960-luvulla, kun Rasbash ja Stark arvioivat syntyvän hiilimonoksidin määrää polttoaine-ilma -suhteen sekä palotiheyden avulla. Heidän tuloksiaan kuitenkin kritisoitiin epäpäteviksi ja varsinaisen tieteellisen tutkimuksen tällä saralla ajatellaankin alkaneen 1990-luvulla. Mulholland esitti, että hiilimonoksidin tuotto riippuu materiaalin lisäksi siitä, onko palo saavuttanut ns. lieskahduspisteen vai ei. Esimerkiksi puun hiilimonoksidin tuotoksi alkupalovaiheessa Mulholland suositteli arvoa 0,002 g/g ja siirryttäessä täyden palon vaiheeseen

arvoa 0,3 g/g. Lisää tutkimuksia polttoaine-ilma -suhteen vaikutuksista hiilimonoksidin ja savun tuottoon tekivät mm. Pitts, Zukoski sekä Tewarson, jotka tulivat myös lopputulokseen, että hiilimonoksidin tuotto kasvaa polttoaine-ilma -suhteen kasvaessa. (Ukleja, 2012, s.31-36.)

Viime vuosikymmeninä on lisäksi suoritettu useita savun koostumusta koskevia tutkimuksia, joissa yksi mittauksen kohteista on ollut hiilimonoksidin tuotto. Peacock ym. (2004) on listannut tällaisia huoneistopalotutkimuksia, joista mittausdataa ja selviä tuloksia on saatavilla. Listatuista tutkimuksista saadut tulokset hiilimonoksidin tuotolle vaihtelevat välillä 0,02-0,5 g/g. Tutkimuksista saatujen tulosten suurta hajontaa osaltaan selittää niihin käytetyt erilaiset materiaalivalinnat, koejärjestelyn mittakaava sekä erilaiset mittausmenetelmät. Näistä eroista huolimatta tuloksista voidaan havaita, että hiilimonoksidin tuotto saattaa tilanteesta riippuen vaihdella hyvinkin paljon ja siksi yhden yksiselitteisen arvon määrittäminen sille onkin käytännössä mahdotonta.

4.3 Savun kulkeutuminen

Savun kulkeutumista ja käyttäytymistä huoneistopaloissa on tutkittu melko laajasti sekä polttokokeiden että simulointien avulla. Esimerkiksi Hokugo ym. (1994) suorittivat polttokokeita ja tutkivat savun leviämistä Kanadan kansallinen tutkimusneuvoston (NRCC) 10-kerroksessa testirakennuksessa. Rakennuksessa syttyvää paloa he kuvasivat toiseen kerrokseen sijoitettujen propaanipolttimien avulla, joilla jäljiteltiin kolmen erilaisen palon tuottamia palotehoja. Kokeiden tarkoituksena oli validoida NRCC-malli, jolla pyrittiin ennustamaan palossa syntyvän savun käyttäytymistä ja sen aiheuttamaa riskiä ihmisille. Kokeista saatujen tulosten mukaan mallin antamien arvojen havaittiin yleisesti korreloivan kokeellisesti saatujen arvojen kanssa.

He ja Beck (1997) tutkivat savun leviämistä nelikerroksisessa testirakennuksessa Victorian teknillisessä yliopistossa. He suorittivat rakennuksessa neljä koetta vaihdellen palonopeutta sekä avonaisten ovien määrää ja mittasivat mm. lämpötilan ja virtausnopeuksien muutoksia. Kokeista saaduista tuloksista he päättelivät, että hormivaikutus esiintyy aina suurten pystykuilujen yhteydessä, jotka ovat yhteydessä muihin tiloihin aukkujen ja vuotojen kautta. He havaitsivat myös hormivaikutuksen, yhdessä savun sekoittumisen ja lämmönsiirtymisen kanssa, estävän joissain tapauksissa savun kerrostumisen kylmään ja kuumaan kerrokseen. Kokeista saatua mittausdataa vertailtiin myös CFAST-ohjelmasta saatuihin laskennallisiin arvoihin.

BRE (Building Research Establishment) suoritti vuonna 2014 laajan tutkimuksen koskien asuintalojen paloturvallisuutta ja savunpoistoa. Tutkimukseen osallistui myös joitain teollisuuden, hallinnon sekä virkavallan edustajia. Tutkimukseen kuului laaja kirjallisuuskatsaus nykyisin maailmalla yleisimmin käytetyistä asuinrakennusten savunpoistomenetelmistä sekä arviot niiden heikkouksista ja vahvuuksista. Kirjallisuuskatsauksen lisäksi he suorittivat yli 70 kokeellista tutkimusta 1:5 mittakaavassa erilaisille savunpoistoratkaisuille. Kokeellisen tutkimuksen tueksi he suorittivat myös simulaatioita yli 500 erilaiselle tapaukselle käyttäen Jasmine CFD-ohjelmaa. Yksi tutkituista tapauksista keskittyi kuusikerroksisen asuinrakennuksen käytävän ja porrashuoneen savunpoiston toimintaan. Sekä kokeellisesti että simuloimalla saadut tulokset osoittivat, että oikeanlaisella savunpoistojärjestelyllä porrashuoneesta ovella erotetun käytävän näkyvyysolosuhteet pystytään saamaan kohtalaisiksi. Tilanne muuttui kuitenkin huomattavasti haastavammaksi, kun käytävän ja porrashuoneen välinen ovi pidettiin raollaan. Tässä tilanteessa

olosuhteet sekä käytävässä että porrashuoneessa olivat erityisen herkkiä käytävän savunpoiston teholle. Jos käytävän savunpoisto oli liian tehokas, heikensi se olosuhteita käytävässä ja mikäli käytävän savunpoisto oli liian tehoton, heikkenivät olosuhteet vastaavasti porrashuoneessa. (BRE, 2014.)

5 Esimerkkirakennuksen mallitus

5.1 Toteutus

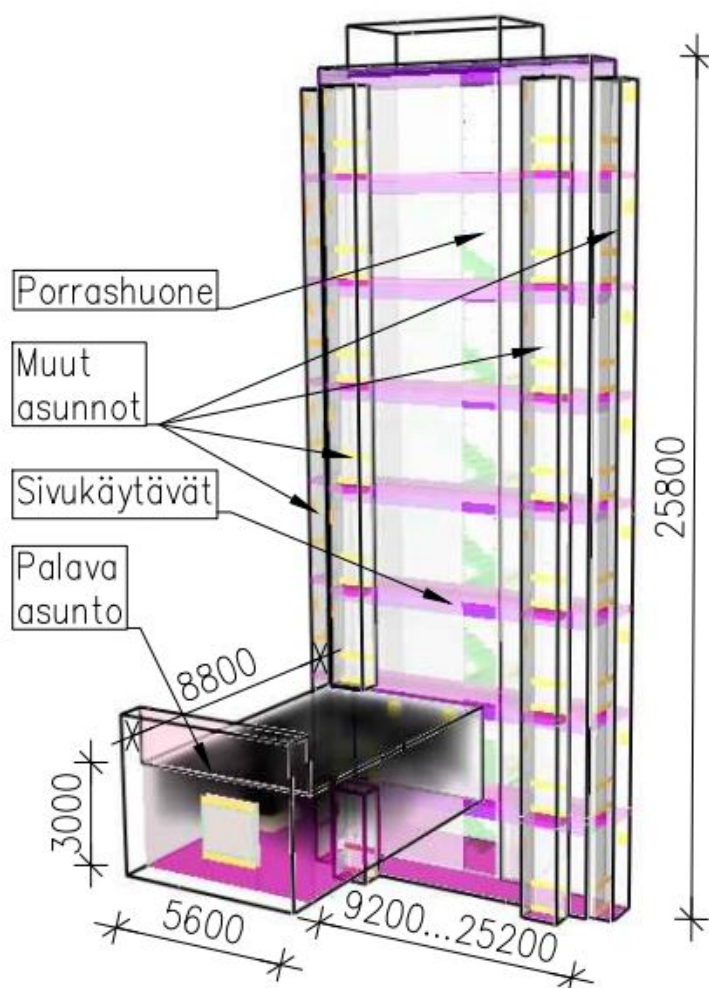
Työssä tutkittiin tavanomaisen 8-kerroksisen kerrostalon sivukäytävien pituuden vaikutuksia palon aiheuttamiin olosuhteiden muutoksiin sekä savun käyttäytymiseen ja poistumiseen porrashuoneesta, jossa on käytössä manuaalisesti laukaistava painovoimainen savunpoisto. Työssä vertailtiin erilaisista tilanteista saatuja simulointituloksia mm. näkyvyyden muutoksen ja FED-arvon avulla. Työ toteutettiin käyttäen Fire Dynamic Simulator (versio 6.3.2) -ohjelmaa, joka on palosimulaatioihin erikoistunut CFD-laskentaohjelma. Tämän lisäksi työssä käytettiin myös Thunderhead Engineeringin kehittämää Pyrosim-ohjelmaa (versio 2015.4.1214), jolla saadaan tuotettua FDS:n käyttämiä syötetiedostoja graafisesti. Simulointitulosten graafiseen esittämiseen käytettiin apuna lisäksi Matlab-ohjelmaa.

5.2 Geometria

Esimerkkirakennuksena käytettiin betonista kahdeksankerroksista kerrostaloa, jonka kerroskorkeutena oli 3,2 metriä. Rakennuksen keskeisten tilojen koot näkyvät taulukossa 1, kuvassa 15 sekä tarkemmin liitteissä. Rakennuksen sivukäytävien mittoina käytettiin kolmea eri pituutta: neljää, kahdeksaa ja kahtatoista metriä. Porrashuoneiden perustyyppinä simuloinneissa käytettiin ns. umpiportaita, mutta lisäksi myös avonaisempaa porrasmallia kokeiltiin. Rakennuksen kaikki asunnot mallitettiin tyhjinä huoneina ilman irtaimistoa ja väliseiniä. Tämän lisäksi kaikki muut paitsi palava asunto mallitettiin vain pieninä koppeina, koska työssä ei keskitytty muihin asuntoihin kulkeutuvan savun määrään, mutta haluttiin kuitenkin huomioida niiden vaikutus virtauksiin. Asuntojen määrä kerroksissa vaihteli neljästä kuuteen riippuen käytävän pituudesta.

Taulukko 1. Mallirakennuksen keskeisten tilojen koot.

Tila	Pinta-ala [m ²]	Tilavuus [m ³]
Porrashuone	14	349
Sivukäytävä(t)	14–40 (112–320)	36–104 (288–832)
Palava asunto	49	147
Yhteensä	77–103 (175–383)	532–600 (784–1328)



Kuva 15. Yleiskuva simuloinneissa käytetystä kerrostalomallista.

5.3 Olosuhteet

Kuten aiemmin todettu, porrashuoneen painovoimaisen savunpoiston tehokkuus kasvaa sitä suuremmaksi mitä korkeampi porrashuoneen lämpötila on suhteessa ulkoilmaan. Vastaavasti ulkoilman ollessa porrashuoneessa olevaa ilmaa kuumempi, heikenee painovoimaisen savunpoiston tehokkuus. Simuloinneissa käytetyksi rakennuksen sisä- sekä ulkolämpötilaksi valittiin painovoimaisen savunpoiston kannalta epäedullinen 20 °C lämpötila. Valitulla lämpötilalla porrashuoneen savunpoisto ei siis tehostu hormivaikutuksesta ja lisäksi mallituksessa syntyvien virheiden mahdollisuus laskee, koska ko. arvo on myös oletusasetuksena käytetyssä simulointiohjelmassa. Hormivaikutuksen puute vaikuttaa kuitenkin tuloksiin negatiivisesti, sillä savun vertikaalinen leviämismisnopeus hieman hidastuu, koska savua levittää tällöin vain noste. Ulko- ja sisäilman lämpötilan lisäksi myös muut ohjelman ns. ympäristömuuttujat säilytettiin oletusarvoissa, tarkoittaen esim. että ilmanpaine oli normaali 101 325 Pa, ilman suhteellinen kosteus oli 40 % ja maan pinnan tason oletettiin olevan merenpinnan tasolla.

5.4 Laskentaresoluutio

Simulointiohjelman käyttämän karteesisen koordinaatiston laskentaverkon solujaoksi kaikkiin suuntiin valittiin 0,2 m. FDS:n käyttäjäoppaan (2015) mukaan solujaon soveltu-

vuutta voidaan arvioida laaduttoman palolähteen halkaisijan (Kaava 40) ja solukoon suhteen avulla. FDS:n on todettu tuottavan kohtalaisen tarkkoja arvoja, kun edellä mainittu suhdeluku on vaihdellut 4 ja 16 välillä (Stroup & Lindeman, 2013). Työssä suoritetuissa simuloinneissa vastaavat arvot 0,2 m solujaolla 500 kW ja 4000 kW paloille olivat 4 ja 8. Näin ollen valittu solujako täytti tämän suosituksen, mutta tästä huolimatta solujaon soveltuvuutta tutkittiin vielä herkkyyksianalyysin avulla. Analyysissä vertailuksi muutama simulointi suoritettiin käyttäen tiheämpää 0,1 m solujakoa, jolloin laaduttoman palolähteen ja solujaon suhteet olivat 7 ja 17. Näin saatujen simulointitulosten ei kuitenkaan havaittu tuottavan juurikaan erilaisia tuloksia palavan asunnon ulkopuolella ja siksi käytetyksi solujaoksi voitiin valita 0,2 m.

$$D^* = \left(\frac{Q}{\rho_a c_p T_a \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad (40)$$

missä Q on paloteho [kW]

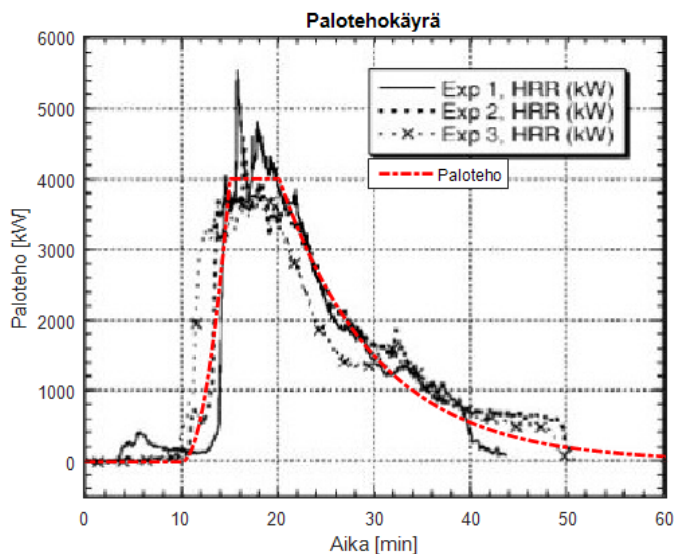
ρ_a on ilman tiheys [kg/m³]

c_p on ilman lämpökapasiteetti [kJ/kg/K]

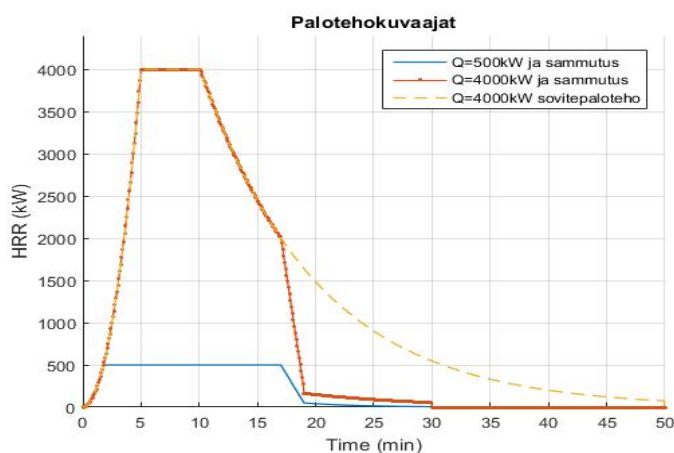
T_a on ilman lämpötila [K]

5.5 Mitoituspalo

Kuten edellä jo todettiin, paloteho on tärkein yksittäinen paloa kuvaava parametri (Babrauskas, 2016, s.799), joka kertoo palon voimakkuudesta. Sen lisäksi useat muut palon parametrit, kuten noentuotto, linkittyvät palotehoon ja siksi onkin hyvin tärkeää, että paloteho vastaa todellisuutta mahdollisimman hyvin. Simuloinneissa käytetyt palotehokuvaajat perustuvat Blomqvistin ym. (2004) suorittamista kalustettujen huoneiden polttokokeista määritettyyn sovitekuvaajaan (Kuva 16). Kokeista saatu sovitekuvaajan kasvunopeus vastaa melko hyvin keskinopeaa palonkehittymisnopeutta, eli palo saavuttaa 1 MW palotehon 150 sekunnissa (Staffansson, 2010, s.34). Varsinaisissa simuloinneissa on 4000 kW palotehon lisäksi myös joissain tilanteissa käytetty pienempää 500 kW palotehoa (Kuva 17), kun olosuhteet ja geometria eivät olisi mahdollistaneet suuremman 4000 kW palotehon käyttöä. Tämän lisäksi palotehokuvaajissa on ajanhetkestä 17 minuuttia alkaen huomioitu palokunnan sammutustoiminnan alkamisen palotehoa voimakkaasti laskeva vaikutus.



Kuva 16. Kirjallisuudesta saatujen kokeellisten palotestien palotehokäyrät sekä niistä määritetty sovitepaloteho (Blomqvist ym., 2004).



Kuva 17. Simuloinneissa käytettyjen 500 kW ja 4000 kW palotehojen palotehokäyrät sekä Blomqvistin ym. (2004) kokeellisista tuloksista määritetty sovitepalotehokuvaaja.

Simulointimallissa itse palo on määritelty ns. poltinmallin avulla. Tämä tarkoittaa, että ohjelma syöttää malliin määräytyä palotehokuvaajaa vastaavan määrän polttoainetta, huomioimatta kuitenkaan esimerkiksi olosuhteita. Tästä syystä osassa simuloituista tapauksista olikin tarpeen käyttää pienempää palotehoa, jottei reagoimatonta polttoainetta kertyisi tiloihin epärealistisia määriä. Simuloinneissa käytetyt geometriat eivät myöskään täysin mahdollista suurempaa 4000 kW maksimipalotehoa, joten simuloinneissa toteutuvien palotehojen voidaan olettaa jäävän tietyissä tilanteissa hieman tarkoitettua alhaisemmiksi.

5.6 Hiilimonoksidin tuotto

Paloreaktioiden hiilidioksidin tuotto riippuu palavista materiaaleista, mutta ehkä jopa suurempi vaikutus on palotilan olosuhteilla, joista ehkä oleellisin on polttoaineen ja paloreaktioiden käytössä olevan ilman seossuhde. Koska simuloinneissa käytetty ohjelma ei kykene arvioimaan olosuhteiden vaikutusta hiilimonoksidin tuottoon, joudutaan ohjelmassa tuottoarvoksi valitsemaan vakioarvo, joka taas on sidottu poltinmallin syöttä-

män polttoaineen massan muutokseen. Valitun arvon tulisi siis kuvastaa sekä palon alkuvaihetta, jolloin hiilidioksidin tuotto on vähäisempää runsaan hapen määrän takia että täyden palon vaihetta, jolloin paloa rajoittaa käytettävissä olevan hapen määrä.

Koska kirjallisuudesta löytyvissä tutkimuksissa suositellut arvot vaihtelevat hyvin runsaasti, valittiin simuloinneissa käytettäväksi hiilimonoksidin tuottoarvoksi 0,08 kilogrammaa per palava polttoaine kilogramma. Huoneistopalojen tapauksessa palokuorma koostuu pääasiassa irta- ja kiintokalusteista, kuten sohvista ja kaapistoista. Siksi palavan materiaalin voidaankin olettaa koostuvan pääasiassa puusta sekä kohtalaisesta määrästä muovia. Arvon valinnassa on käytetty hyväksi tätä oletusta sekä sen lisäksi on huomioitu Gannin ym. (2003) suorittamista polttokokeista sohville ja kirjahyllyille mitaamat hiilimonoksidin tuottoarvot. Heidän mitaamansa arvot olivat noin 0,05 kg/kg. Koska muovien hiilimonoksidin tuotto on suurempaa kuin puun, arvioitiin simuloinneissa käytetty hiilimonoksidintuotto hieman suuremmaksi. Tämän lisäksi muutamissa simuloinneissa on vertailuksi käytetty suurempaa 0,2 kg/kg hiilimonoksidin tuottoarvoa, jota suositellaan käytettäväksi riskiarvioinnissa (Babrauskas 1995, Gann ym. 2003).

5.7 Noen tuotto

Kuten hiilimonoksidinkin tuotto, myös paloreaktioiden tuottama noen määrä on riippuvainen palavasta materiaalista ja reaktio-olosuhteista. Tilanteissa, joissa palamisreaktiot pääsevät tapahtumaan riittävän korkeissa lämpötiloissa sekä happirikkaassa ympäristössä, syntyy savua ja nokea huomattavasti vähemmän kuin tilanteissa joissa, lämpötila ja hapenmäärä ovat alhaisempia. Koska simulointiohjelma ei kykene arvioimaan näitä olosuhteiden vaikutuksia myöskään syntyvän noen määrään, joudutaan noentuottoarvo valitsemaan siten, että se vastaa kohtalaisesti palavien materiaalien tuottamaa noen määrää läpi kaikkien palon vaiheiden. Arvion tueksi kirjallisuudesta löytyy mittauksia mm. sisustettujen huoneiden noentuottoarvoista sekä suosituksia laskennassa käytettäväksi arvoiksi (Peacock ym. 2004, Robbins & Wade, 2007).

Simuloinneissa käytettäväksi noen tuottoarvoksi valittiin 0,07 kg/kg. Arvo perustuu Robbinssin ja Waden (2007) suorittamien mittausten tuloksiin. Heidän arvionsa mukaan noen tuotolla 0,05 kg/kg saavutettiin konservatiivisimmat lopputulokset simuloinnin kannalta. Heidän suorittamiensa mittausten mukaan kuitenkin esimerkiksi sohvien tapauksessa syntyvän noen määrä oli hieman korkeampi 0,07 kg/kg. Koska eri asuntojen palokuorman koostumus vaihtelee, valittiin simuloinneissa käytettäväksi noentuotoksi sohvien tuottama korkeampi ja samalla vaarallisempi arvo.

5.8 Savunpoisto

Rakennuksen savunpoistona käytettiin vain porrashuoneen painovoimaista savunpoistoa. Savunpoistoaukkona toimi porrashuoneen katossa oleva 1 m² kokoinen aukko, joka on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 (2011) antama vähimmäiskoko tällaiselle luukulle. Porrashuoneen savunpoiston vaatima korvausilma saatiin maanpinnan tasossa olevan ulko-oven kautta. Tämän lisäksi osassa simuloinneissa savunpoiston tehostamiseksi kokeiltiin palokunnan siirrettävän puhaltimen sijoittamista porrashuoneen maanpinnan tasossa olevalle ulko-ovelle. Puhaltimen antamana tilavuusvirtana käytettiin 4 m³/s, kun puhallin oli ns. perinteinen pelkkä puhallin ja vastaavasti ns. sukkapuhallin antoi pakotetun vakioilmavirran 2 m³/s. Puhaltimet erosivat mallissa siis sillä, että ns. perinteinen puhallin puhalsi tehonsa verran ilmaa koko ulko-oven alan yli, jolloin sisään

virtaava ilma oli painovoimaisesti sisään virtaavan ilman ja puhaltimen lisäämän ilmamäärän summa. Ns. sukkapuhallin taas säilytti koko käynnissä oloaikansa $2 \text{ m}^3/\text{s}$ vakioilmavirran ulko-oven kautta porrashuoneeseen.

5.9 Ikkunan hajoaminen

Palavan asunnon mahdollisen maksimipalotehon kannalta on hyvin oleellista missä vaiheessa asunnon ikkuna hajoaa vai säilyykö se ehjänä koko palon ajan. Kirjallisuudesta löytyy useita tutkimuksia siitä, millaisissa olosuhteissa ikkunan voidaan olettaa särkyvän (Babrauskas, 2010, Shriver, 2006). Ikkunan lasien paksuudesta ja määrästä riippuen ikkunan särkymisen alarajalämpötilana voidaan tutkimusten mukaan pitää noin $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Ikkunan koostuessa useammasta lasikerroksesta hajoamiseen vaadittava lämpötila ja lämpösäteily kasvaa selvästi ja kaksoislasitetun ikkunan voidaankin olettaa hajoavan vasta noin $600 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa (Babrauskas 2010, s.5). Tutkimuksista ei kuitenkaan selvästi selviä onko niissä huomioitu tilan mahdollinen paineen nousu ja sen vaikutuksia ikkunan hajoamiseen. Simuloinneissa onkin 4000 kW palotehon tapauksissa oletettu ikkunan hajoavan 200 s kuluttua palon syttymisestä, jolloin ikkunan ulko- ja sisäpinnan lämpötila ero on noin $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Ikkunan hajottaminen tuolloin myös varmistaa, että paloteho pääsee kehittymään halutulla tavalla lähelle 4000 kW :a. Vaihtoehtona ikkunan hajoamiselle työssä tutkittiin myös tilanteita, joissa ikkuna ei hajoa ja palokunta avaa tai ei avaa ikkunaa. Tulee kuitenkin huomioida, että näissä tapauksissa simuloinnin teoreettista maksimipalotehoa on pienennetty pienemmän aukkotekijän takia.

5.10 Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto toteutettiin koneellisella poisto- ja tuloilmalla, josta poikettiin hieman vain porrashuoneen osalta. Ilmanvaihdon tehokkuudeksi kaikissa tiloissa valittiin $0,5 \text{ 1/h}$ eli tilojen ilmamäärä vaihtuu kerran kahdessa tunnissa. Porrashuoneen ja siihen yhteydessä olevien käytävien yhteinen jäteilman poistopiste sijoitettiin porrashuoneen kahdeksanteen kerrokseen. Porrashuoneen korvausilma järjestettiin tilaan painovoimaisesti ulkoseinän venttiilien kautta sekä alhaalle sijoitetun pienen tulopuhaltimen avulla. Jokaiseen asuntoon taas sijoitettiin sekä poisto- että tulopiste. Ilmanvaihdon suurimmaksi toimintapaineeksi valittiin 75 Pa ja jokaisen putken painehäviöksi säädettiin noin 50 Pa . Mallirakennuksen ja ulkotilan välille luotiin ilmanvaihdon avulla lisäksi pieni paine-ero siten, että sisätilat olivat hieman alipaineisia. Porrashuoneen ja käytävien paine-eroksi ulkotilaan nähden normaalitilassa, ennen paloa, säädettiin -3 Pa ja vastaavasti asuntojen paine-eroksi -7 Pa . Jotta ilmanvaihdon toimintaolosuhteet olisivat lähempänä normaalia tilannetta ennen palon alkua, simuloinnissa ilmanvaihtoa simulointiin minuutin ajan ennen kuin varsinainen simulointi aloitettiin.

5.11 Ilmavuodot

Mikään rakennus ei koskaan ole täysin tiivis vaan mm. rakenteiden saumojen kautta vuotaa ilmaa tilasta toiseen, johtuen tilojen välisistä paine-eroista. Vinha ym. (2004) suorittamien asuinrakennusten ilmatiiviysmittausten mukaan kerrostalorapun ilmavuodot ovat 50 Pa :n ylipaineella noin $0,9 \text{ 1/h}$ riippuen hieman, kuinka mittaus toteutettiin. Samassa tutkimuksessa mitattiin myös yksittäisten kerrostaloasuntojen ilmavuotoja, joista tulokseksi betonisen elementtitalon tapauksessa saatiin noin $1,6 \text{ 1/h}$. Koska Vinhan ym. (2004) tutkimuksessa ei sen tarkemmin tutkittu vuotoilmamääriä eri reittien kautta, oletettiin simuloinneissa asunnon vuotavasta ilmamäärästä 40% kulkeutuvan suoraan ulos

ikkunan ja seinän vuotojen kautta. Vastaavasti asunnon ja käytävän välisen kerrostasoven tiiviydestä ei ollut tarkempaa tietoa saatavilla, joten vuodon määräksi arvioitiin noin 20 % asunnon vuotoilman määrästä. Lopun 40 % oletettiin vuotavan rakenteiden muiden epäjatkuvuuskohtien kautta, eikä niitä huomioitu simulointimallissa muutoin. Koska rakennuksen kaikkien asuntojen oletettiin simulointimallissa olevan samankokoisia, käytettiin samoja vuotoarvoja jokaisen asunnon kohdalla. Loput rakennuksesta ulos vuotavasta ilmamäärästä oletettiin vuotavan porrashuoneen ja käytävien muodostamasta tilasta. Näin rakennuksen vaipan kautta ulos vuotavaksi kokonaisilmamääräksi muodostui 0,9 l/h. Taulukossa 2 on esitetty näiden vuotovirtojen suuruus mallitettujen reittien kautta.

Asuntojen ikkunoiden vuotoalat jaettiin tasaisesti ikkunan ala- ja yläreunaan. Vastaavasti kerrostasoven vuotojen oletettiin tapahtuvan pääasiassa niiden alareunan ja postiluukun kautta. Vuodot sijoitettiin sekä kerrostasoven alaosaan että noin 1 m korkeudelle lattian pinnasta. Porrashuoneen ja käytävien vuodot sijoitettiin porrashuoneeseen ja jaettiin tasaisesti koko porrashuoneen korkeudelle (Kuva 18). Vuotoalat määriteltiin malliin paikallisina vuotoina hyödyntäen FDS:n ilmanvaihtolaitteisto-ratkaisijaa, kuten FDS:n käyttäjän käsikirja suosittelee käytettäväksi (McGrattan ym.2015b, s.109). Vinhan (2004) tutkimusten mukaisia vuotoilmamääriä vastaavat vuotoalat saatiin näin laskettu käyttäen kaavaa (41), jossa vuodon virtaushäviökertoimenä on käytetty kymmentä (McGrattan ym.2015a, s.153). Vuotoalat eri reittien kautta on lisäksi esitetty myös taulukossa 2.

Taulukko 2. Esimerkkirakennuksen ilmavuotojen alat ja määrät eri reittien kautta. Vuotoalan virtaushäviökertoimenä on käytetty kymmentä.

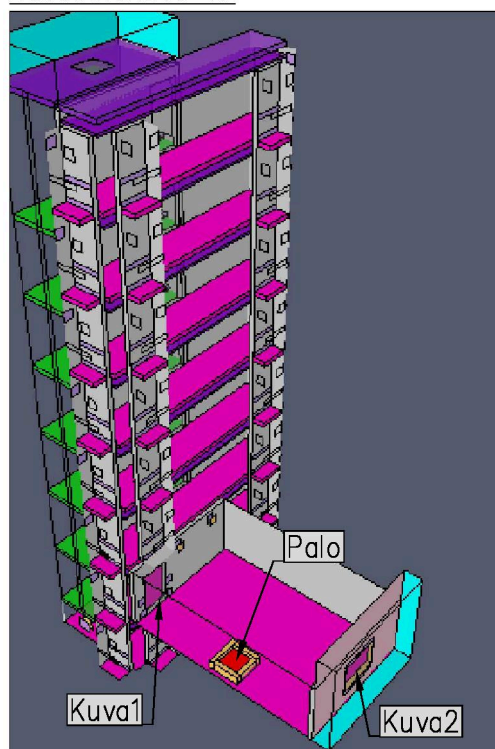
Vuotoreitti	Vuotoala [mm²]	Vuotoilmamäärä, kun Δp=50 Pa [dm³/s]
Asuntojen ikkunoiden vuoto ulos	91,2	26,3
Asuntojen kerrostasoven vuoto käytävään	45,6	13,1
Porrashuoneen ja käytävän vuoto ulos	2815,2	507,4 - 811,3

$$V_{leak} = A_{leak} * \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho K_{leak}}} \quad (41)$$

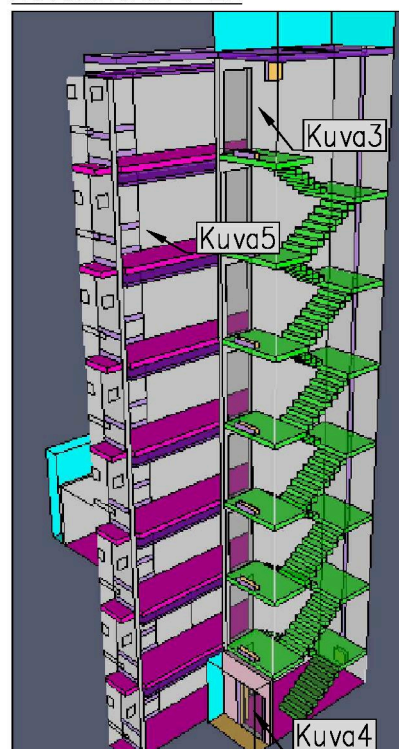
missä A_{leak} on vuotoala [m²]

K_{leak} on vuodon virtaushäviökerroin [-]

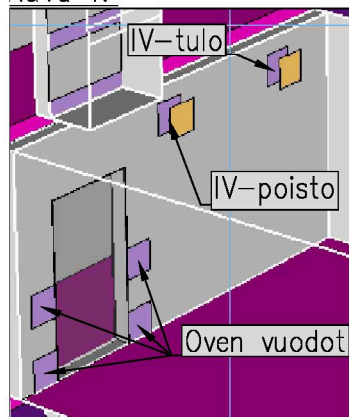
Havainnekuva 1:



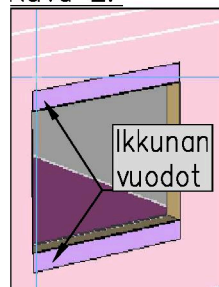
Havainnekuva 2:



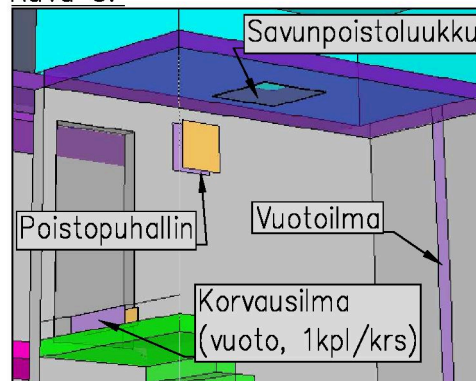
Kuva 1:



Kuva 2:



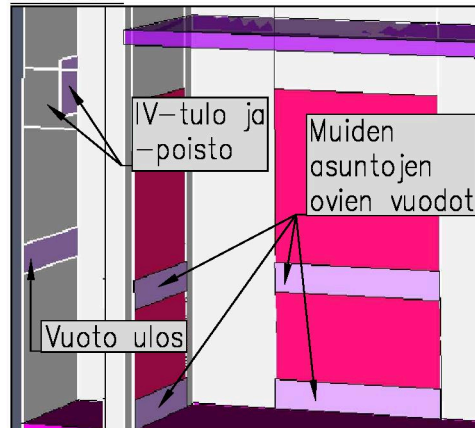
Kuva 3:



Kuva 4:



Kuva 5:



Kuva 18. Kuva kerrostalon simulointimallista, jossa palava huoneisto sijaitsee toisessa kerroksessa ja sivukäytävän kokonaispituus on 8 metriä. Kuviin on lisätty myös selityksiä antamaan lisätietoa mm. ilmanvaihdon ja vuotojen toteutuksesta sekä palon sijainnista.

5.12 Mittauspisteiden sijainnit

Porrashuoneen ja käytävien olosuhteiden arviointia varten malliin sijoitettiin useita ns. mittauslinjoja. Jokaiselle näistä pystylinjoista sijoitettiin 40 anturia puolen metrin välein, tarkoittaen viittä anturia per kerros. Porrashuoneeseen sijoitettiin yksi mittauslinja ja käytävään sen pituudesta riippuen tuli 3, 5 tai 7 mittauslinjaa. Näiden linjojen tarkemmat sijainnit löytyvät työn liitteissä olevista kuvista.

5.13 Käytävien erottaminen porrashuoneesta savuovin

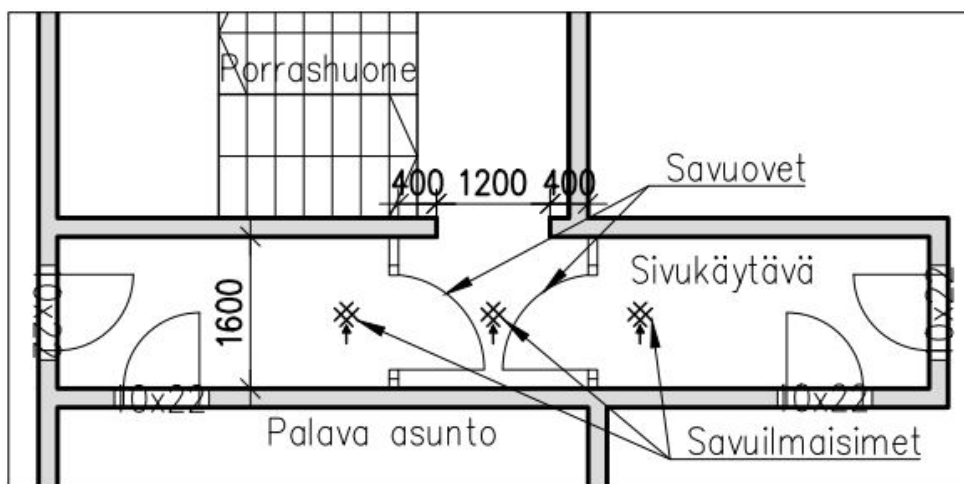
Simuloimalla tutkittiin, voidaanko savun poistumista porrashuoneesta tehostaa erottamalla jokainen käytävä savuovin porrashuoneesta. Savuovien läheisyyteen käytävien kattoon sijoitettiin savuilmaisimet, joiden reagointi savuun sulki automaattisesti kaikkien käytävien ovet. Työssä ei kuitenkaan tutkittu, kuinka savuovien hetkellinen avaaminen tai toimimattomuus vaikuttaisi porrashuoneen olosuhteisiin, mutta huomioimalla muista simulointituloksista saadut tulokset vaikutuksia voitiin arvioida.

5.14 Simuloidut esimerkkitapaukset

Simuloimalla tutkittiin useiden parametrien vaikutuksia olosuhteisiin porrashuoneessa ja siihen yhteydessä olevissa käytävissä. Simuloiduissa tapauksissa vaihtuvana pääparametrina käytettiin käytävän pituutta, jota vaihdeltiin taulukon 3 mukaisesti. Erimittaisille käytäville tutkittiin lisäksi mm. palavan asunnon kerrostaso-oven aukaisun ja ikkunan hajoamisen vaikutuksia porrashuoneen ja käytävien olosuhteisiin. Taulukko 4 ja 5 listaa simuloinneissa tutkitut variaatiot. Tämän lisäksi simuloinneissa vaihdeltiin myös hiilimonoksidin tuottoarvoa taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 3. Simuloinneissa käytetyt käytävän pituuden variaatiot.

Käytävät	Kuvaus
K4	Suora kahteen suuntaa oleva 4 m pitkä käytävä
K4PM	Kuin tapaus K4, mutta kaikkialla on käytetty 0,1 m solujakoa
K4X	Kuin tapaus K4, mutta porrashuoneen yläosassa on käytetty 0,1 m solujakoa
K8	Suora kahteen suuntaa oleva 8 m pitkä käytävä
K8L	Kahteen suuntaan oleva 8 m pitkä käytävä, joista toisessa on yksi 90 asteen mutka
K8P	Suora kahteen suuntaa oleva 8 m pitkä käytävä ja avoporras
K12	Suora kahteen suuntaa oleva 12 m pitkä käytävä



Kuva 19. Lisättyjen savuovien ja savuilmaisimien sijainti käytävissä.

Taulukko 4. Simuloidut palavan asunnon kerrostaso-oven aukeamistapaukset ja erilaiset savunpoistovariaatiot.

Tapaus	Kuvaus
C3	Palavan asunnon kerrostaso-ovi avataan ajanhetkellä $t \approx 17$ min (1015 s)
C3b	Kuin tapaus Case3, mutta lisäksi palokunnan siirrettävä puhallin
C3b2	Kuin tapaus Case3, mutta lisäksi palokunnan siirrettävä "sukkapuhallin"
C3c	Kuin tapaus Case3, mutta käytävässä savuilmaisimella sulkeutuvat ovet
C3cb	Kuin tapaus Case3b, mutta käytävässä savuilmaisimella sulkeutuvat ovet
C3cb2	Kuin tapaus Case3b2, mutta käytävässä savuilmaisimella sulkeutuvat ovet
C4	Palavan asunnon kerrostaso-ovi avataan ajanhetkellä $t = 5$ s
C4b	Kuin tapaus Case4, mutta lisäksi palokunnan siirrettävä puhallin
C4b2	Kuin tapaus Case4, mutta lisäksi palokunnan siirrettävä "sukkapuhallin"
C4c	Kuin tapaus Case4, mutta käytävässä savuilmaisimella sulkeutuvat ovet
C4cb	Kuin tapaus Case4b, mutta käytävässä savuilmaisimella sulkeutuvat ovet
C4cb2	Kuin tapaus Case4b2, mutta käytävässä savuilmaisimella sulkeutuvat ovet

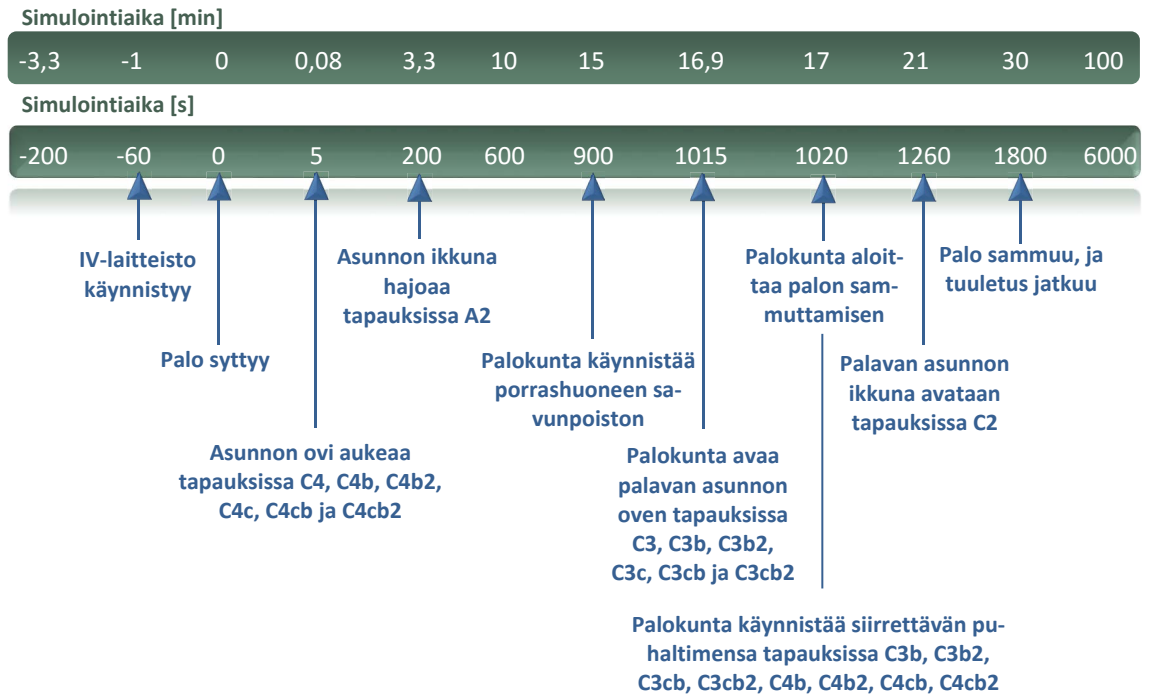
Taulukko 5. Simuloidut ikkunan avautumistapaukset.

Ikkunan hajoamistapaukset	Kuvaus
A2	Ikkuna hajoaa, kun $t = 200$ s
B2	Ikkuna ei hajoa tai sitä ei avata
C2	Ikkuna avataan, kun $t = 21$ min (1260 s)

Taulukko 6. Simuloinneissa käytetyt hiilimonoksidin tuottoarvot.

Hiilimonoksidin tuotto	Kuvaus
C05	Tuottoarvo $y_{co} = 0,05$ kg/kg
C20	Tuottoarvo $y_{co} = 0,20$ kg/kg

Simuloinnin aikana tapahtuvat toiminnot ovat esitetty kuvassa 20. Simulointi alkaa siis minuutin kestäväällä ilmanvaihdon toiminnan simuloinnilla ennen palon syttymistä. Palo kehittyy tämän jälkeen määrätyn laisesti, kunnes palokunta saapuu palopaikalle noin 15 minuutin kohdalla ja käynnistää porrashuoneen savunpoiston. Itse palon sammutuksen palokunta aloittaa simuloinneissa noin 17 minuutin kohdalla palon syttymisestä. Tämän jälkeen palo heikkenee nopeasti ja sammuu lopullisesti 30 minuutin kohdalla palon syttymisestä, jonka jälkeen jäljellä oleva savu pyritään tuulettamaan rakennuksesta pois.



Kuva 20. Simuloinnin tapahtumien aikajana.

6 Simulointitulokset

6.1 Tulostussuureet

Eri simuloinneista saatuja tuloksia arvioitiin kolmen muuttujan avulla: FED-arvon, näkyvyyden sekä lämpötilan avulla. FED-arvolle ja näkyvyydelle valittiin lisäksi tietyt raja-arvot, joiden ylittymistä ja alittumista tuloksissa vertailtiin:

- FED: 0,1; 0,3 ja 1,0
- näkyvyys: 3 m, 10 m ja 30 m.

FED-arvoista 0,1 kuvaa tilannetta, joissa ihmiset eivät vielä ole vaarassa, mutta olosuhteet ovat kuitenkin alkaneet heiketä. FED-arvon saavutettua 0,3:n saattaa se aiheuttaa tajunnanmenetystä heikommalle väestöosalle, kuten vanhuksille ja lapsille. Niin kuin aiemmin todettu FED-arvo 1 taas kuvaa tilannetta, jossa 50 % ihmisistä menettää tajuntansa. Käytetyistä arvoista näkyvyydelle 30 m raja-arvo kuvaa tilannetta, jolloin savun määrä tilassa voidaan olettaa olevan niin vähäistä, ettei siitä ole haittaa näkyvyydelle. Vastaavasti 10 m näkyvyys kuvaa tilannetta, jolloin savu haittaa jo selvästi näkemistä. Merkittävää haittaa näkyvyydelle savusta voidaan olettaa näkyvyyden laskettua alle 3 metrin raja-arvon. Lämpötilalle vastaavia arvoja ei valittu, koska lämpötilat nousivat merkittävästi vain hyvin paikallisesti palokerroksen käytävässä ja porrashuoneessa tapauksissa, kun palavan asunnon kerrostaso-ovi oli auki.

Nämä kaikki pistemittauksilla saadut tulokset niin FED-arvolle, näkyvyydelle kuin lämpötilallekin ovat siis ko. pisteessä koko simuloinnin aikana saadut arvot. Näin ollen esimerkiksi pelkkää FED-arvoa tarkkailemalla ei voida suoraan päätellä asunnostaan lähteneen ihmisen altistumista savukaasuille, koska mitattu arvo kuvaa tietyssä pisteessä koko simuloinnin aikana kertynyttä FED-arvoa. Raja-arvojen ylittymiseen kuluneen ajan tarkastelu soveltuukin ennemmin vain eri tilanteiden väliseen vertailuun, johon niitä tässä työssä onkin käytetty.

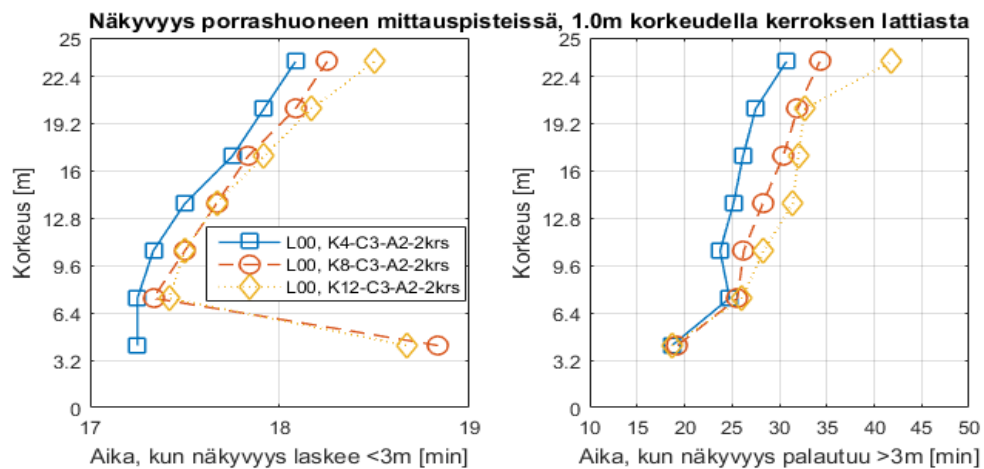
6.2 Käytävän pituuden vaikutus olosuhteisiin kerrostaso-oven ollessa kiinni

Kuvien 21, 22 ja 23 vasemmanpuoleisissa kuvaajissa on esitetty näkyvyyden aleneminen porrashuoneessa yhden metrin korkeudella lattiasta eri käytävän pituuksilla. Kuvaajista nähdään selvästi, kuinka käytävän pituuden kasvattaminen hidastaa näkyvyyden heikkenemistä. Ero savunleviämisaajoissa porrashuoneessa erimittaisten käytävien välillä kuitenkin katoaa, kun palavan asunnon kerrostaso-ovi avataan ja suuri määrä savua pääsee porrashuoneeseen ajanhetkestä $t=17$ minuuttia lähtien. Ero savun leviämisenopeudessa ja vaikutuksissa olosuhteisiin erimittaisten käytävien välillä selittyy käytävän suuremmalla tilavuudella ja pinta-alalla. Pidempien käytävien suurempi tilavuus laimentaa savukaasuja enemmän ja samalla suurempi pinta-ala taas kykenee ns. varastoimaan suuremman savumäärän. Kulkeutuessaan pidemmän matkan savu kohtaa suuremman alan viileämpiä pintoja, jotka siirtävät osan savun energiasta rakenteisiin ja savun leviäminen hidastuu menetetyn energian takia.

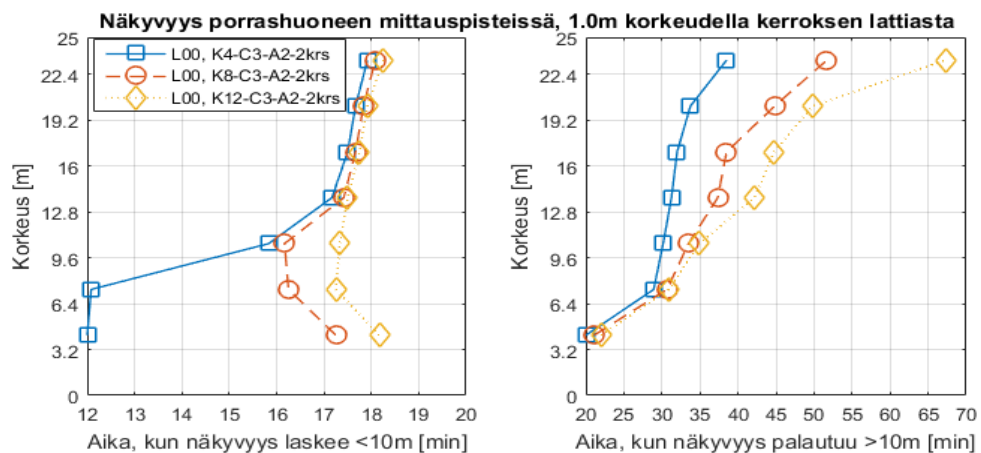
Jos käytävän pidentäminen näytti tulosten mukaan hidastavan savun leviämistä porrashuoneessa, on käytävän pituudella samankaltainen vaikutus myös savun poistumiseen rakennuksesta. Kuvien 21, 22 ja 23 oikeanpuoleisten kuvaajien mukaan näkyvyyden paranemisen vaatima aika kasvaa aina käytävien pidentyessä. Ajallisesti suurimmat erot

näkyvyyden paranemisessa eri käytävien välillä näyttävät syntyvän aivan ylimmissä kerroksissa, mistä savu myös kaikissa simuloinneissa poistuu viimeisenä. Näkyvyyden palautumiseen takaisin taas yli 30 metriin kahdeksannessa kerroksessa kuluvaan aikaan näyttää tulevan aina noin 20 minuuttia lisää, kun käytävien pituuksia kasvatetaan neljällä metrillä. Laskeuduttaessa alempiin kerroksiin tämä ero pienenee, mutta on silti useita minuutteja. Kokonaisajat (palon syttymisestä) näkyvyyden palautumiselle (>30m) kaikkialla porrashuoneessa sekä käytävillä ovat eri käytävän pituuksille seuraavat (Kuva 25):

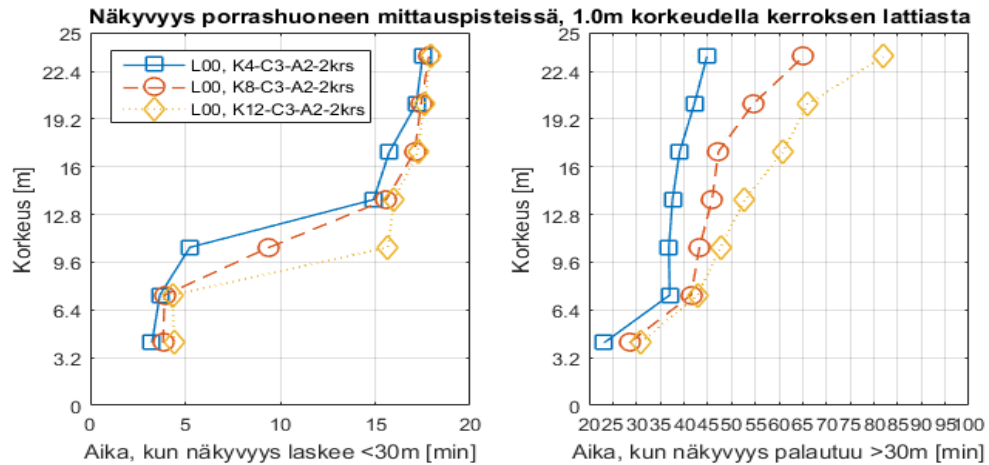
- 4 metrin käytävä: 50 minuuttia 5 sekuntia
- 8 metrin käytävä: 70 minuuttia 20 sekuntia
- 12 metrin käytävä: 91 minuuttia 21 sekuntia



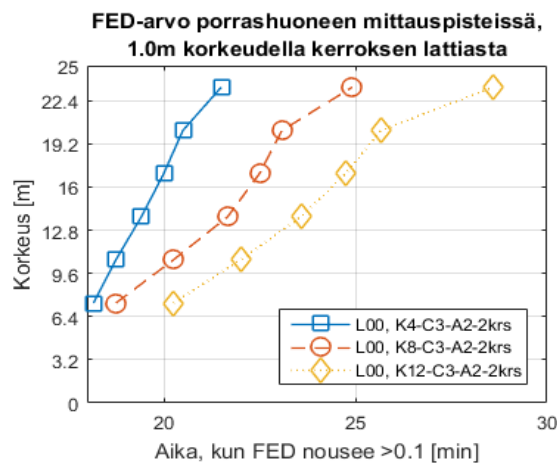
Kuva 21. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle kolmen metrin kuluva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli kolmeen metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



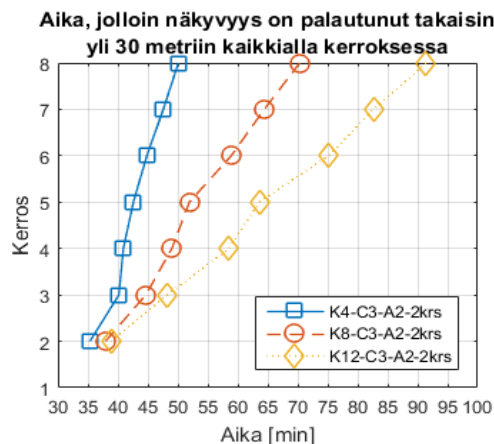
Kuva 22. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle 10 metrin kuluva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 10 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



Kuva 23. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle 30 metrin ku-luva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jäl-keen.



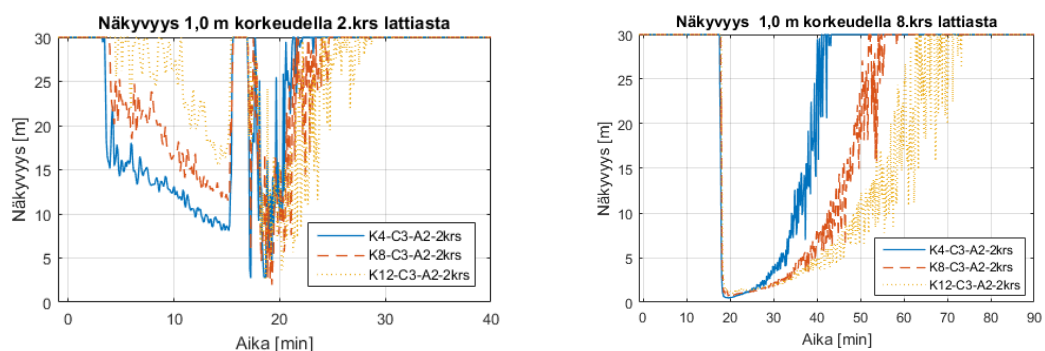
Kuva 24. Kuvaajassa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,1:n kuluva aika palon syttymisestä. Kuvaajissa käytetyt arvot kuvaavat yhden metrin korkeu-delta kerrosten lattiapinnasta saatuja arvoja. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 mi-nuutin kuluttua palon syttymisestä.



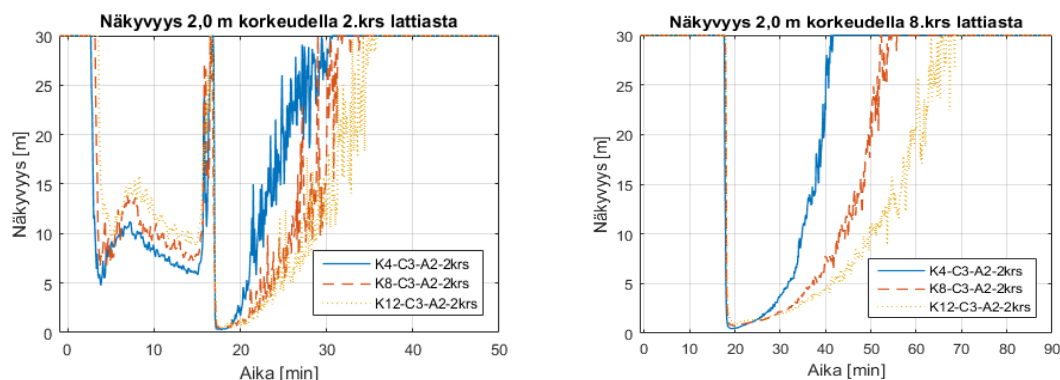
Kuva 25. Kuvaajassa on esitetty eripituisten käytävien vaatima aika, jolloin kaikissa kerroksen mittauspisteissä näkyvyys palautui yli 30 metriin. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

Tutkittaessa tarkemmin näkyvyyden muutoksia porrashuoneen mittauspisteissä nähdään, että savu on levinnyt kaikilla käytävän pituuksilla kolmanteen kerrokseen ennen kuin palokunta avaa asunnon kerrostaso-oven ja koko porrashuone täyttyy savusta. Kuvista 26 ja 27 taas huomataan, että palokunnan avatessa porrashuoneen ulko-oven sekä katon savunpoistoluukun paranevat toisen kerroksen (palokerros) olosuhteet nopeasti, mutta heikkenevät taas hetkellisesti palavan asunnon kerrostaso-oven aukaisun jälkeen. Vastaavasti ylimpien kerrosten olosuhteiden havaitaan heikkenevän vasta palavan asunnon kerrostaso-oven avaamisen jälkeen, mutta olosuhteiden paraneminen mm. näkyvyyden osalta siellä alkaa vasta vähän ennen palon sammumista 30 minuutin kohdalla.

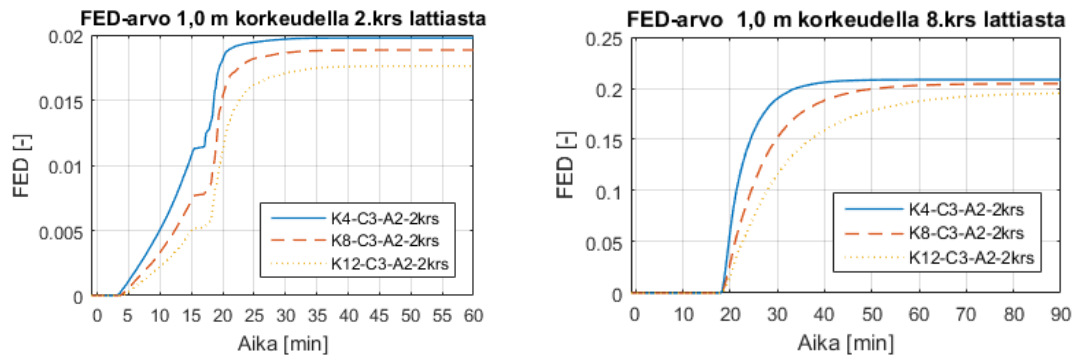
Ennen palokunnan saapumista olosuhteet porrashuoneessa ovat näkyvyyden ja FED-arvon kannalta kohtalaiset yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista, sillä näkyvyys säilyy yli 10 metrissä kaikissa muissa tapauksissa paitsi lyhimmän neljän metrin käytävän tapauksessa. Vastaavasti myös FED-arvo jää kaikissa tapauksissa turvallisesti alle 0,01:n ennen palavan asunnon kerrostaso-oven avausta (Kuva 28). Palokunnan saapumisen ja palavan asunnon kerrostaso-oven avaamisen jälkeen FED-arvo ymmärrettävästi nousee suuren määrän savua päästyä porrashuoneeseen. Tällöin voidaan kuitenkin olettaa, että pelastushenkilöstö on jo siirtänyt turvaan kaikki mahdollisesti porrashuoneessa olleet asukkaat, eikä arvoa siksi ole oleellista tarkastella kuin ensimmäisten 17 minuutin osalta. Olosuhteita rakennuksesta pelastautuvien ihmisten kannalta voidaankin ko. tapauksessa pitää kohtalaisina kaikilla mitatuilla parametreilla jokaiselle kolmelle simuloitulle käytävän pituudelle.



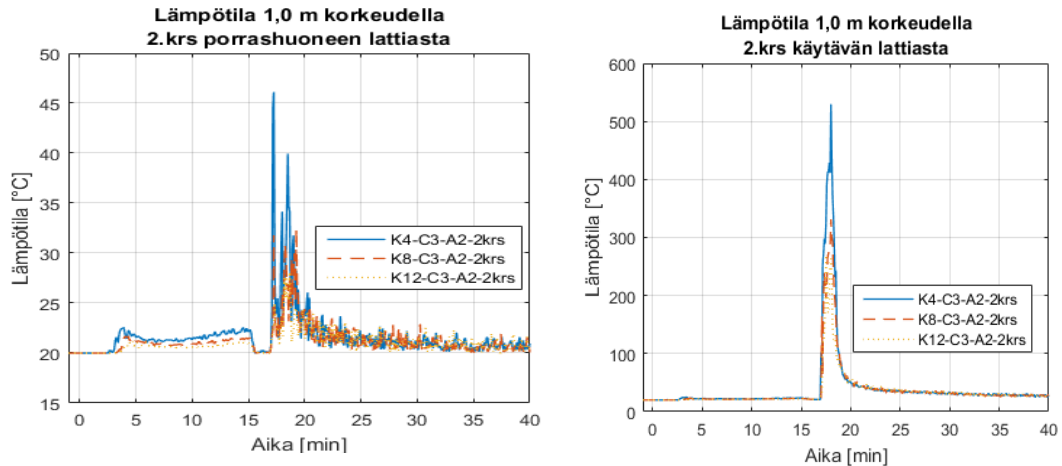
Kuva 26. Kuvaajissa on esitetty näkyvyyden muutos porrashuoneen toisessa (vas.) ja kahdeksannessa (oik.) kerroksessa. Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin yhden metrin korkeudella lattian pinnasta ollutta mittauspistettä. Molemmissa tilanteissa asunnon ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.



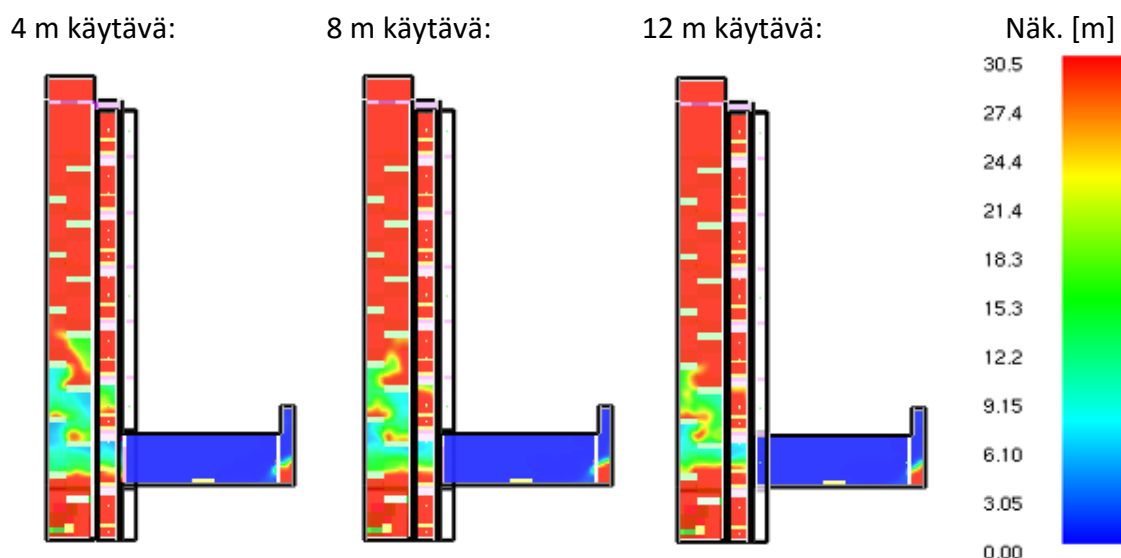
Kuva 27. Kuvaajissa on esitetty näkyvyyden muutos porrashuoneen toisessa (vas.) ja kahdeksannessa (oik.) kerroksessa. Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin kahden metrin korkeudella lattian pinnasta ollutta mittauspistettä. Molemmissa tilanteissa asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.



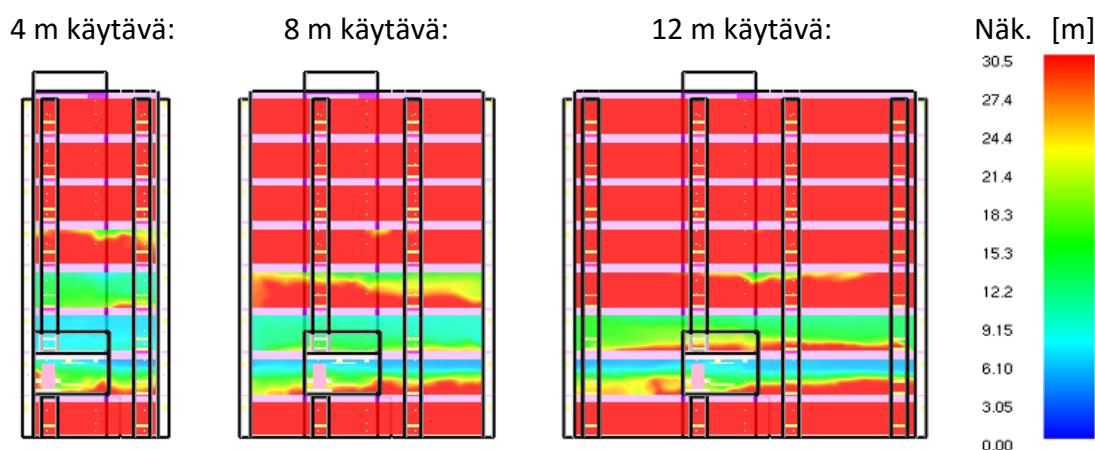
Kuva 28. Kuvaajissa on esitetty FED-arvon muutos porrashuoneen toisessa (vas.) ja kahdeksannessa (oik.) kerroksessa. Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin yhden metrin korkeudella lattian pinnasta ollutta mittauspistettä. Molemmissa tilanteissa asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.



Kuva 29. Kuvaajissa on esitetty lämpötilan muutos porrashuoneen (vas.) toisessa kerroksessa ja toisen kerroksen käytävän (oik.) mittauspisteessä 2 (palavan asunnon edustalla oleva mittauspiste). Havaintopisteinä käytettiin yhden metrin korkeudella lattian pinnasta olleita mittauspisteitä. Asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.



Kuva 30. Leikkauskuva näkyvyydestä eripituisten käytävien tapauksissa (K4-C3-A2, K8-C3-A2 ja K12-C3-A2) ajanhetkellä $t=5$ min. Leikkauslinja jakaa porrashuoneen puoliksi, kulkien myös palavan asunnon läpi. Palavan asunnon kerrostaso-ovi on kuvan tilanteissa vielä suljettuna.



Kuva 31. Leikkauskuva näkyvyydestä eripituisten käytävien tapauksissa (K4-C3-A2, K8-C3-A2 ja K12-C3-A2) ajanhetkellä $t=16,5$ min. Leikkauslinja kulkee käytävien keskilinjaa pitkin koko käytävän pituuden matkan. Palavan asunnon kerrostaso-ovi on kuvan tilanteissa vielä suljettuna.

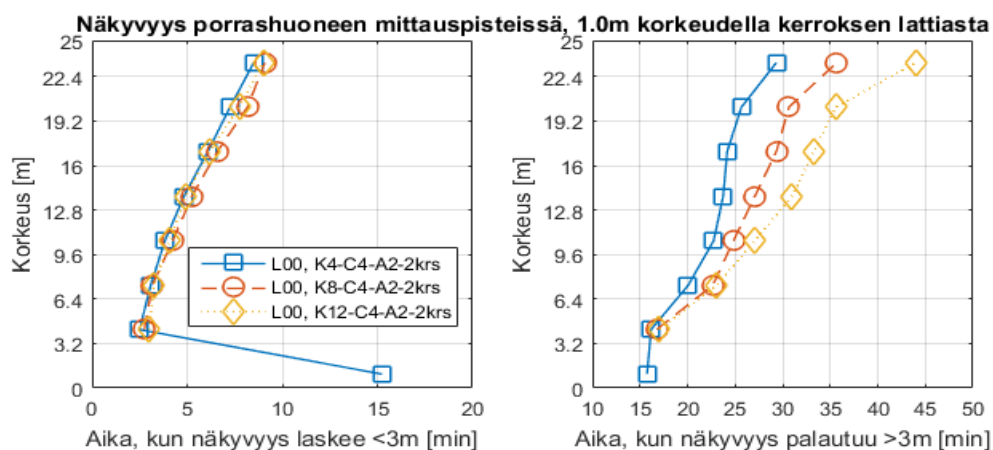
6.3 Käytävän pituuden vaikutus olosuhteisiin kerrostaso-oven ollessa auki

Palavan asunnon kerrostaso-oven avaaminen jo aivan palon alkuvaiheessa muuttaa olosuhteiden muodostumista porrashuoneessa merkittävästi, koska palon tuottama savu pääsee nyt vapaasti leviämään käytävään ja edelleen porrashuoneeseen. Näkyvyys laskeekin käytävän pituudesta riippumatta lähes yhtä nopeasti kaikissa kerroksissa ja porrashuoneen ylimpiinkin kerrokseen savu on levinnyt jo noin 7 minuutin kuluessa kaikilla käytävän pituuksilla (Kuva 37). Vastaavasti myös FED-arvo nousee nopeasti käytävän pituudesta riippumatta. Esimerkiksi porrashuoneen toisessa kerroksessa kaikilla kolmella käytävän pituudella FED-arvo on jo kymmenen minuutin kohdalla noussut yli yhden (Kuva 38) ja kahdeksannessakin kerroksessa arvo nousee ennen palokunnan saapumista

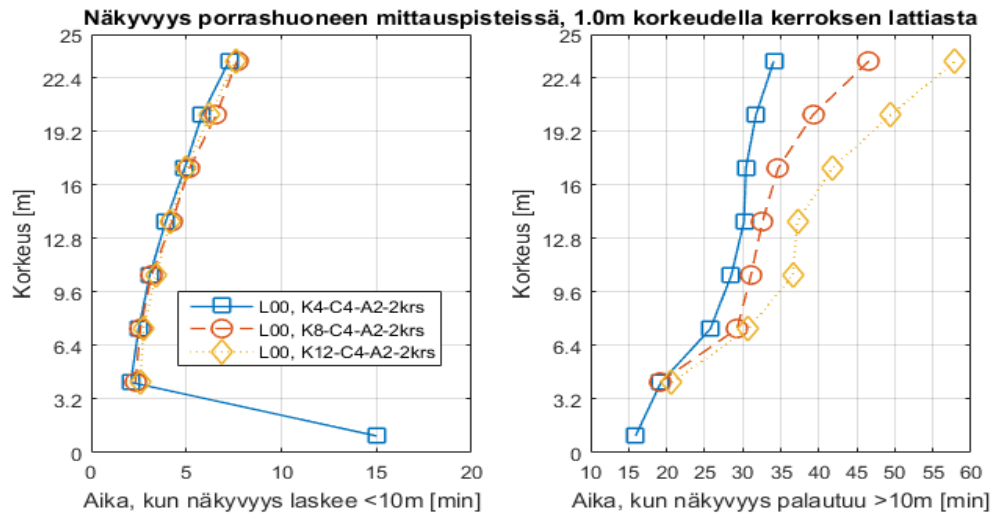
0,2:een. Näin ollen riski palokerroksesta ja ylemmistä kerroksista porrashuoneeseen läheneiden ihmisten menehtymiseen on suuri jo muutaman minuutin kuluttua palon syttymisestä, riippumatta käytävän pituudesta.

Savun poistuminen rakennuksesta näyttää hidastuvan käytävän pidentyessä. Sama havaittiin myös, kun palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin kiinni ensimmäiset 17 minuuttia. Kuvien 32, 33 ja 34 oikeanpuoleisista kuvaajista nähdään kuinka näkyvyyden paranemisen vaatima aika kasvaa käytävän pituuden kasvaessa. Ajallisesti suurimmat erot syntyvät rakennuksen ylimmissä kerroksissa. Esimerkiksi näkyvyyden palautumiseen takaisin yli 30 metriin porrashuoneen kahdeksansannessa kerroksessa kuluva aika kasvaa noin 15–20 minuutilla, kun käytävää pidennetään neljällä metrillä. Vastaavasti kokonaisajat (palon syttymisestä) näkyvyyden palautumiselle (>30m) kaikkialla porrashuoneessa sekä käytävillä ovat eri käytävän pituuksille seuraavat (Kuva 36):

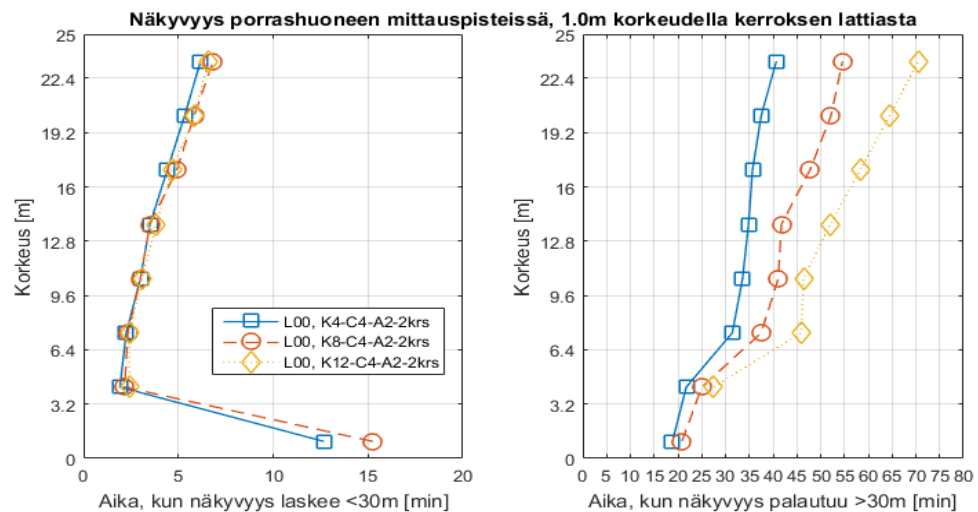
- 4 metrin käytävä: 44 minuuttia 35 sekuntia
- 8 metrin käytävä: 60 minuuttia 34 sekuntia
- 12 metrin käytävä: 79 minuuttia 45 sekuntia



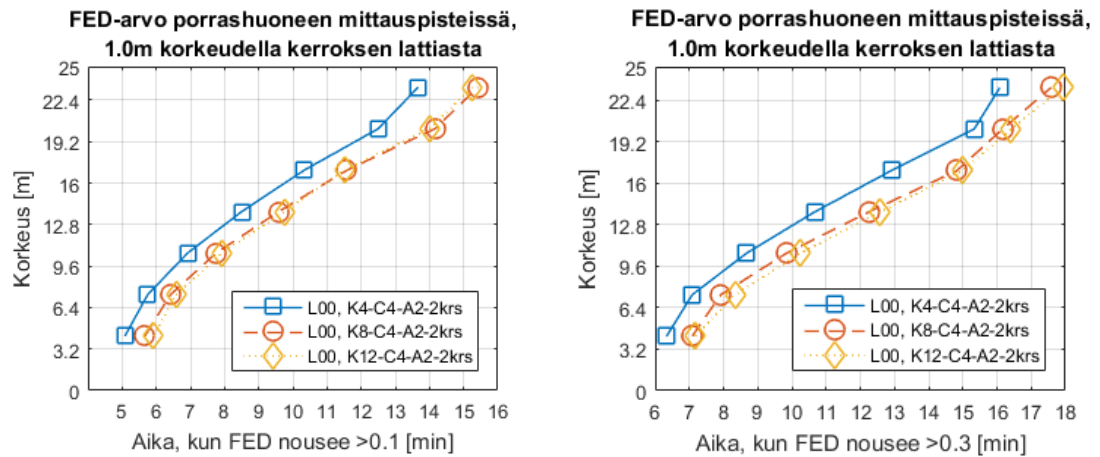
Kuva 32. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle kolmen metriin kuluva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli kolmeen metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



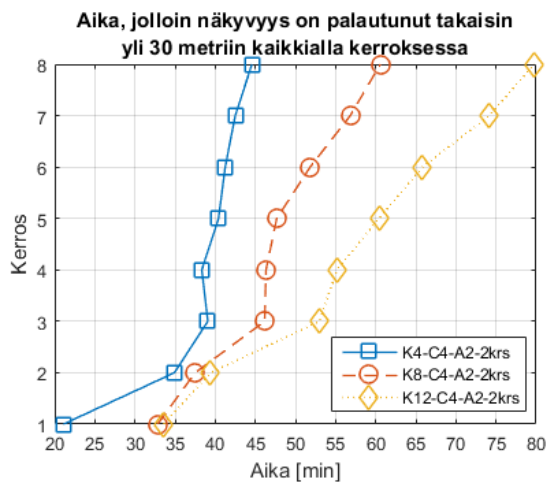
Kuva 33. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle 10 metriin kuva-aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 10 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiatpinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



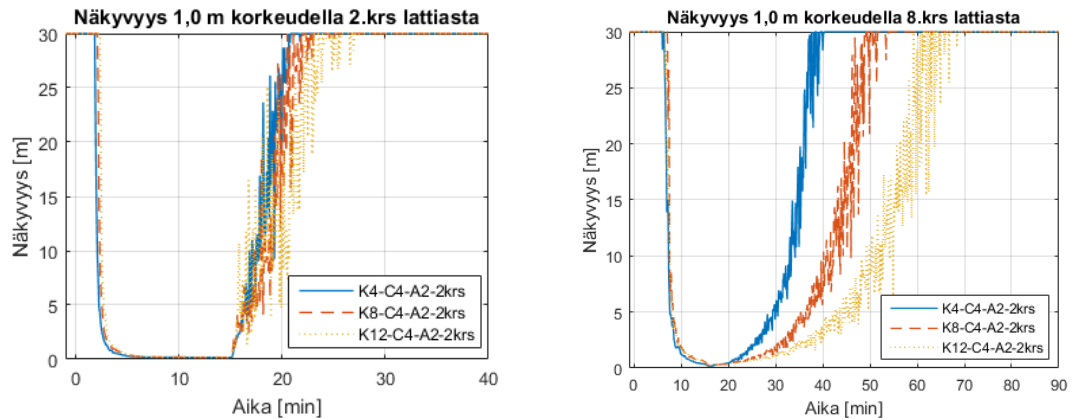
Kuva 34. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle 30 metriin kuva-aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiatpinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



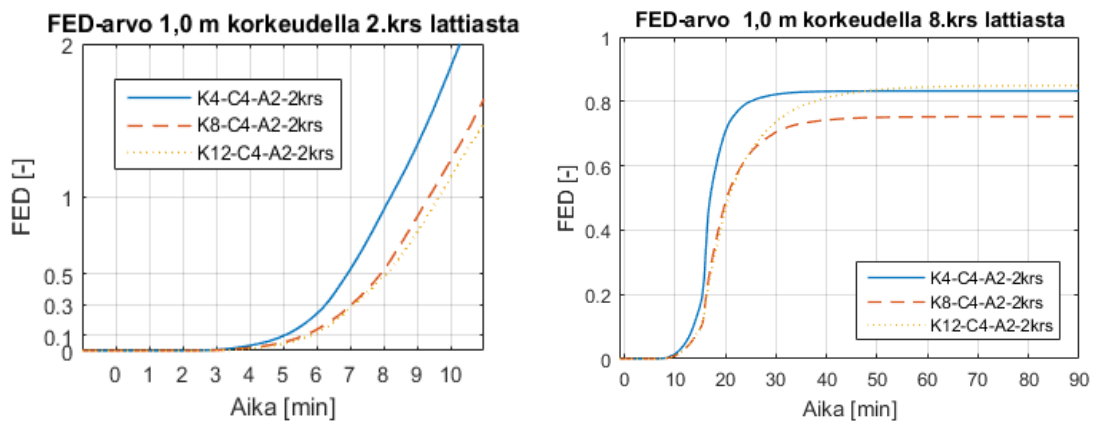
Kuva 35. Kuvaajissa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,1:n (vas.) ja 0,3:n (oik.) kuluva aika palon syttymisestä. Kuvaajien arvot saatiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnasta olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



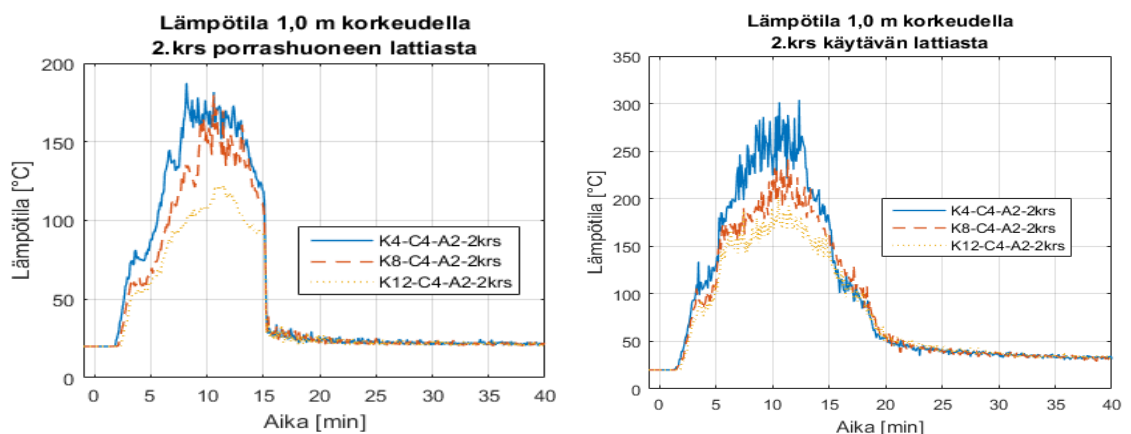
Kuva 36. Kuvaajassa on esitetty eripituisten käytävien vaatima aika, jolloin kaikissa kerroksen mittauspisteissä näkyvyys palautui takaisin yli 30 metriin. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



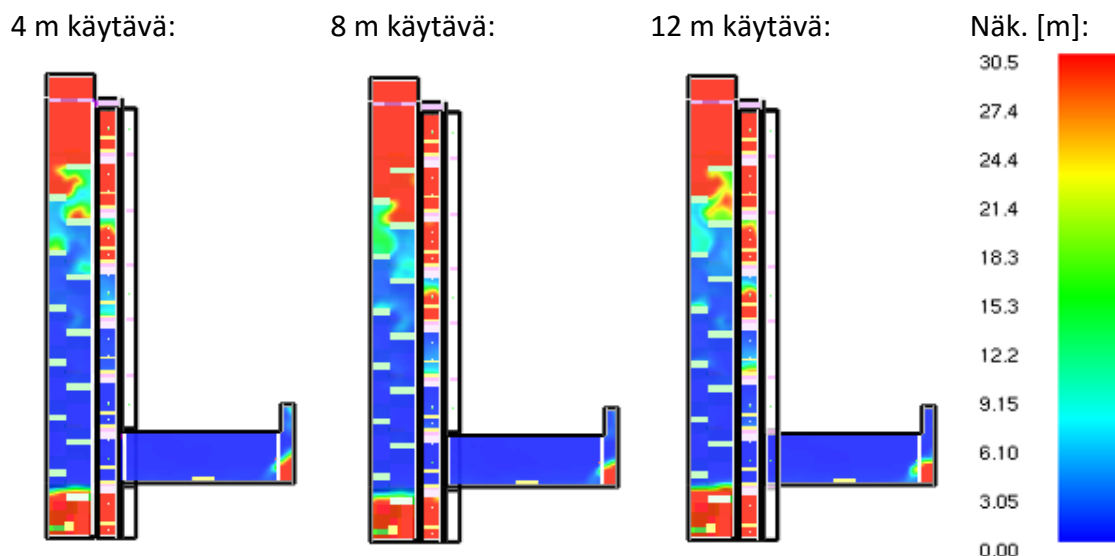
Kuva 37. Kuvaajissa on esitetty näkyvyyden muutos porrashuoneen toisessa (vas.) ja kahdeksannessa (oik.) kerroksessa. Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin yhden metrin korkeudella lattiapinnasta ollutta mittauspistettä. Molemmissa tilanteissa palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin myös auki koko palon ajan.



Kuva 38. Kuvaajissa on esitetty FED-arvon muutos porrashuoneen toisessa (vas.) ja kahdeksannessa (oik.) kerroksessa. Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin yhden metrin korkeudella lattiapinnasta ollutta mittauspistettä. Molemmissa tilanteissa palavan asunnon kerrostaso-ovi myös pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 39. Kuvaajissa on esitetty lämpötilan muutos porrashuoneen (vas.) toisessa kerroksessa ja toisen kerroksen käytävän (oik.) mittauspisteessä 2 (palavan asunnon edustalla oleva mittauspiste). Havaintopisteinä käytettiin yhden metrin korkeudella lattian pinnasta olleita mittauspisteitä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 40. Leikkauskuva näkyvyydestä eripituisten käytävien tapauksissa (K4-C4-A2, K8-C4-A2 ja K12-C4-A2) ajanhetkellä $t=5$ min. Leikkauslinja jakaa porrashuoneen puoliksi, kulkien myös palavan asunnon läpi. Palavan asunnon kerrostaso-ovi on kuvan tilanteissa avoinna.

6.4 Palavan asunnon ikkunan hajoamisen ja palotehon vaikutus olosuhteisiin

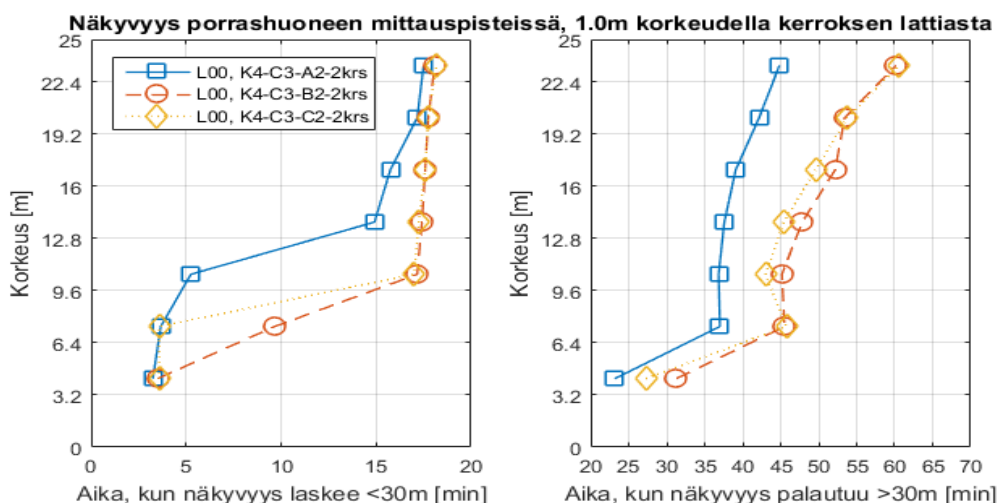
Palavan asunnon ikkunan hajoamisen vaikutusta tutkittiin kolmen erilaisen tapauksen avulla. Tapauksessa A2 ikkuna hajosi 200 s kuluttua palon alusta ja maksimipaloteho oli 4000 kW. Molemmissa tapauksissa B2 ja C2 maksimipaloteho rajattiin 500 kW:iin ja lisäksi tapauksissa B2 ikkuna ei avattu ollenkaan koko simuloinnin aikana, kun taas tapauksissa C2 ikkuna avattiin palon sammutuksen jo alettua ajanhetkellä 21 min.

Saaduista kuvaajista porrashuoneen näkyvyydelle nähdään helposti, että palotehon laskeminen hidastaa savun leviämistä tapauksissa, joissa palavan asunnon kerrostaso-ovi pidetään kiinni. Toisaalta mikäli palavan asunnon kerrostaso-ovi pidetään auki koko palon ajan, ei paloteholla näytä olevan suurta vaikutusta savunleviämisenopeuteen kuin ainoastaan rakennuksen ylimmissä kerroksissa. Lisäksi kuvassa 47 esitetyistä kuvaajista nähdään, että vaikka savu leviääkin porrashuoneeseen lähes yhtä nopeasti molemmilla palotehoilla, ei näkyvyys porrashuoneesta kuitenkaan heikkene enää noin seitsemän minuutin kuluttua palon syttymisestä, kun käytettiin pienempää palotehoa ja ikkuna ei hajonnut. Syynä tähän on happipitoisuuden laskeminen suljetussa huoneessa, mikä taas rajaa tällaisten tapausten palotehoa. Tämän takia voidaan todeta, että tällainen pieni yhteen suljettuun asuntoon rajoittuva palo ei aiheuta yhtä suurta uhkaa muille rakennuksen asukkaille kuin vastaava palo, joka pääsee kasvamaan suuremmaksi esimerkiksi hajonneen ikkunan takia. Vastaavasti itse palavan asunnon asukkaiden kannalta paloteholla ei ole niin suurta merkitystä, koska pienikin palo kykenee tuottamaan suljettuun tilaan riittävästi savukaasuja, jotka pystyvät tainnuttamaan ihmisen.

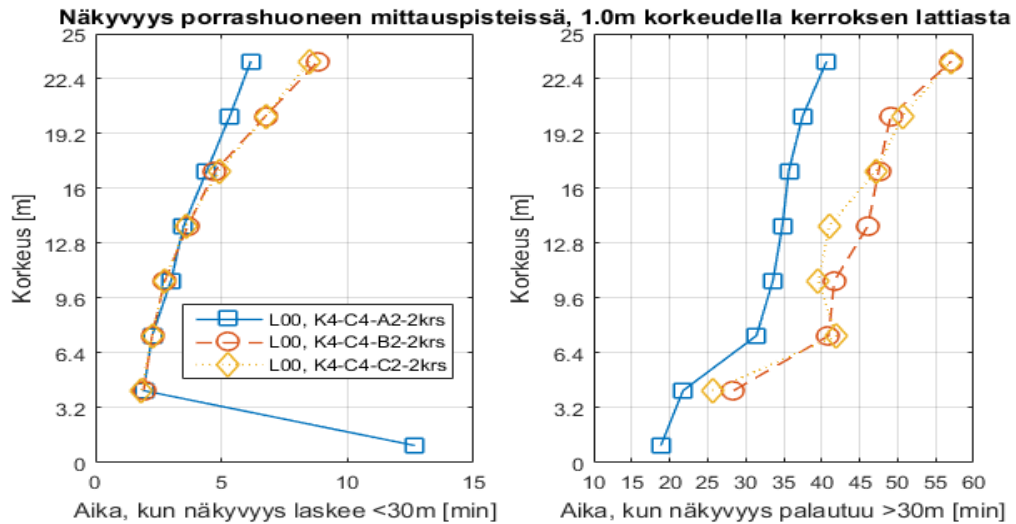
Vertailtaessa näkyvyyden palautumiseen kuluvia aikoja nähdään, että palavan asunnon kerrostaso-oven avautumishetken merkitys pienenee entisestään, kun palotehona käytetään pienempää 500 kW:a. Toisaalta palotehon laskeminen myös heikentää savun poistumista porrashuoneesta. Syynä tähän on luultavasti savukaasujen alhaisempi lämpötila, joka johtuu pienemmästä palossa vapautuvasta energian määrästä. Painovoimainen savunpoisto toimii sitä tehokkaammin mitä suurempi kaasujen lämpötilaero on ja

siksi havaitaankin, että 4000 kW paloteholla savun poistuminen on selvästi nopeampaa, vaikka syntyvää savua on myös enemmän kuin 500 kW palossa.

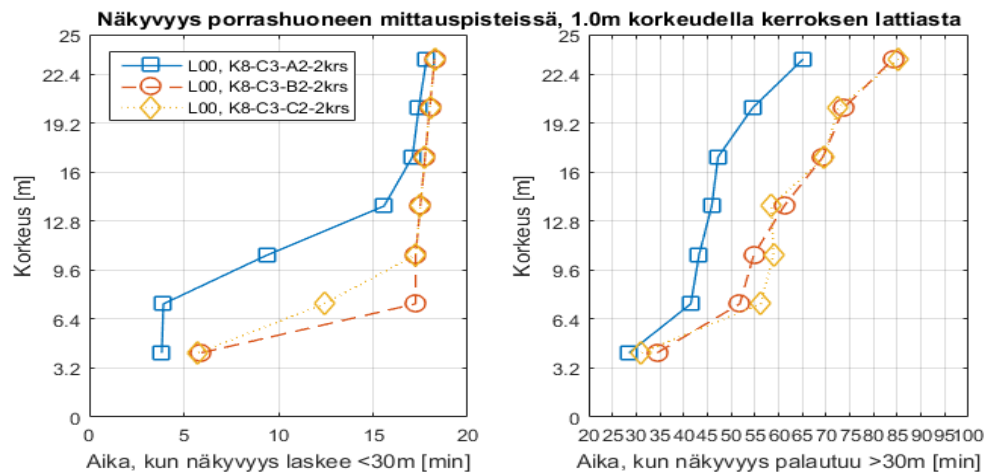
Vertailtaessa tapauksia B2 ja C2 havaitaan, että kaikki näiden tapausten kuvaajat (Kuvat 41-46) mukailevat toisiaan hyvin pienin eroin. Tapausten välillä ei pitäisikään olla ensimmäisten 21 minuutin aikana juurikaan vaihtelua, sillä siihen asti simuloinnit ovat identtisiä. Tuloksissa nähdään kuitenkin pientä hajontaa, mikä selittyy osaltaan mm. virtausten turbulenttisuudella sekä niiden laskentamallin toiminnalla, joka tekee jokaisesta simuloinnista aina hieman erilaisen. Tarkasteltaessa tapausten eroja sen jälkeen, kun palavan asunnon ikkuna on avattu (21 min), nähdään ettei simuloinneista saatujen näkyvyyden palautumiseen kuluvi aikojen välillä tällöinkään havaita selvää eroa. Tulosten pohjalta voidaankin päätellä, ettei ikkunan avaamisesta ole apua tai haittaa tarkasteltaessa savun rakennuksesta poistumiseen kuluva kokonaisaika. Toki ikkunan avaaminen nopeuttaa hieman savunpoistumista palavasta asunnosta sekä samasta kerroksesta jossa asunto on ja siksi sen avaaminen voikin olla perusteltua.



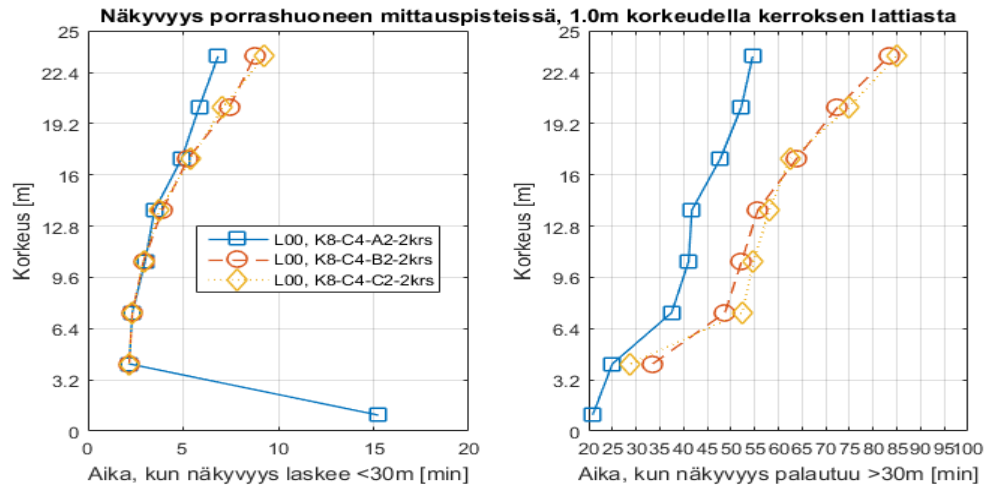
Kuva 41. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena on käytetty neljää metriä ja ikkunan hajoamisen ajanhetkeä sekä palotehoa on muutettu. Näkyvyyden muutoksen arvot on määritetty yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



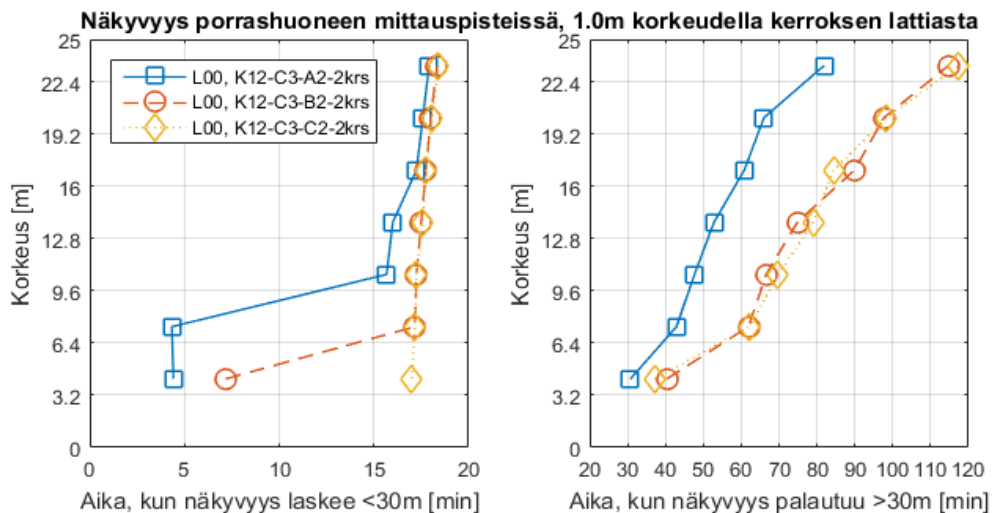
Kuva 42. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin neljää metriä ja ikkunan hajoamisen ajanhetkeä sekä palotehoa muutettiin. Näkyvyyden muutoksen arvot on määritetty yhden metrin korkeudella kerrosten lattiatapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



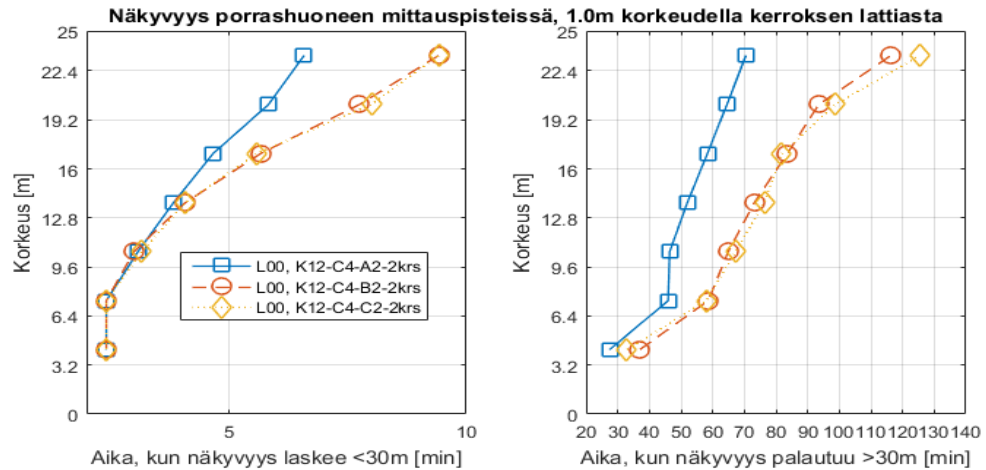
Kuva 43. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin kahdeksaa metriä ja ikkunan hajoamisen ajanhetkeä sekä palotehoa muutettiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiatapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



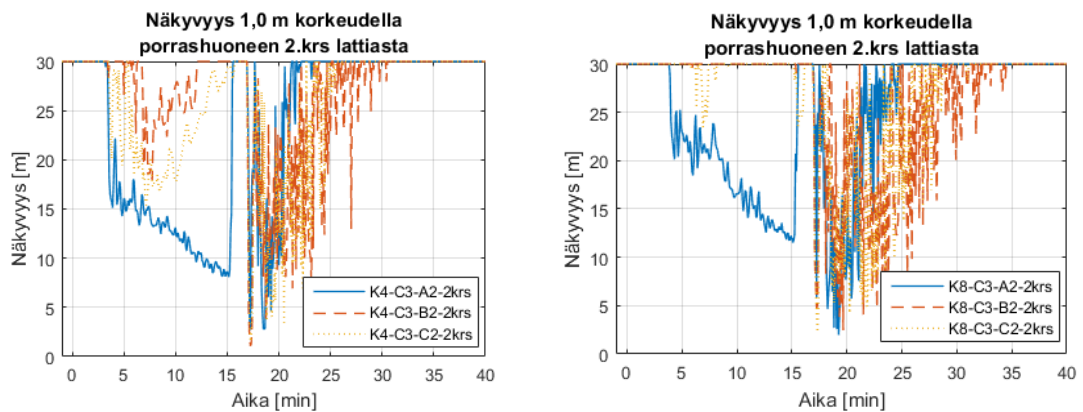
Kuva 44. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin kahdeksaa metriä ja ikkunan hajoamisen ajanhetkeä sekä palotehoa muutettiin. Näkyvyyden muutoksen arvot on määritetty yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



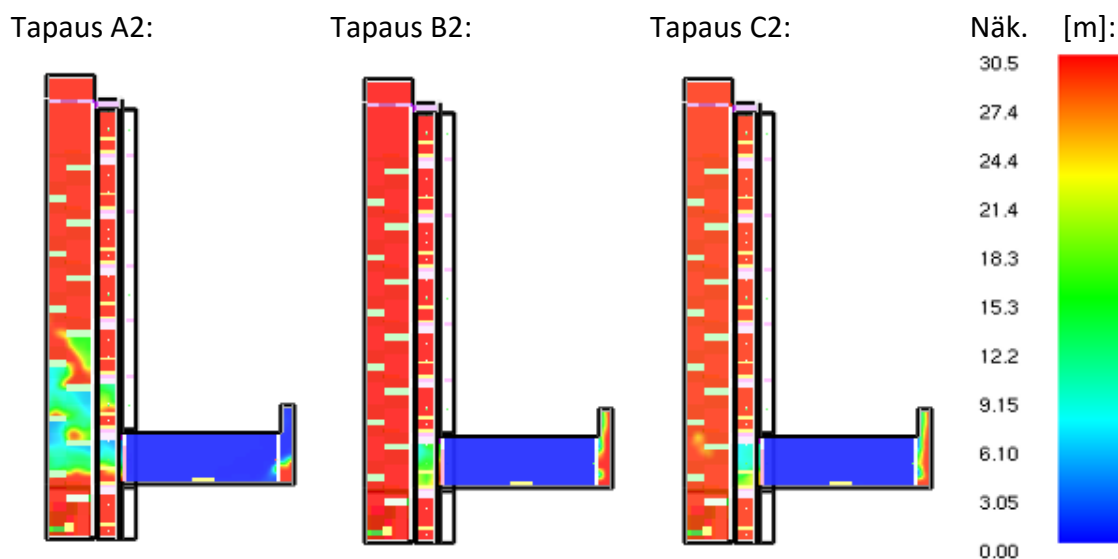
Kuva 45. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin 12 metriä ja ikkunan hajoamisen ajanhetkeä sekä palotehoa muutettiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



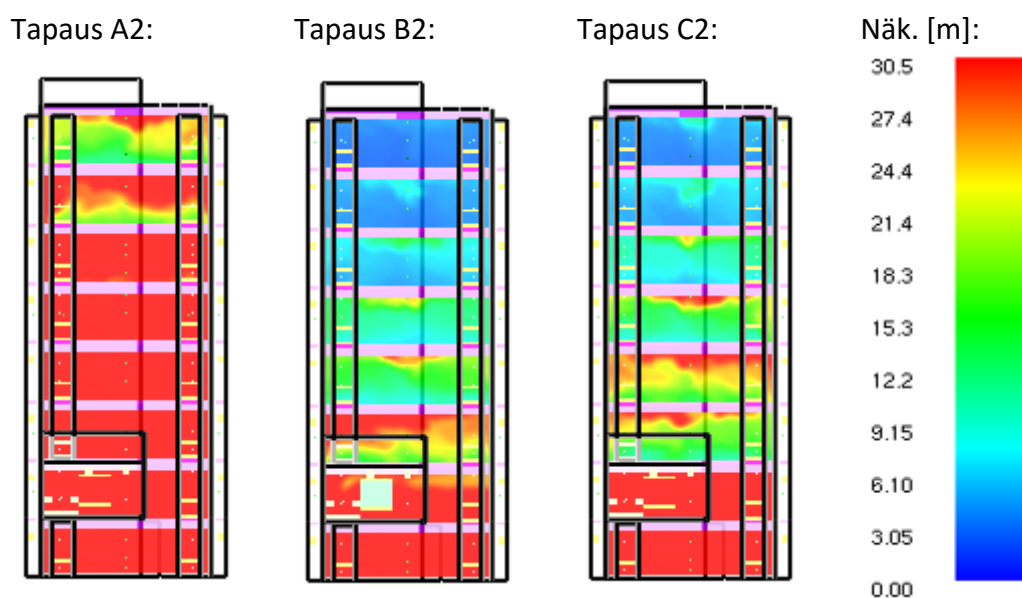
Kuva 46. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laski alle 30 metriin (vas.) ja palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin 12 metriä ja ikkunan hajoamisen ajanhetkeä sekä palotehoa muutettiin. Näkyvyyden muutoksen arvot on määritetty yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 47. Kuvaajissa on esitetty näkyvyyden muutos porrashuoneen toisessa kerroksessa neljän metrin mittaisen käytävän tapauksessa (vas.) ja kahdeksan metrin mittaisen käytävän tapauksessa (oik.). Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin yhden metrin korkeudella lattiapinnasta ollutta mittauspistettä. Molemmissa tilanteissa asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

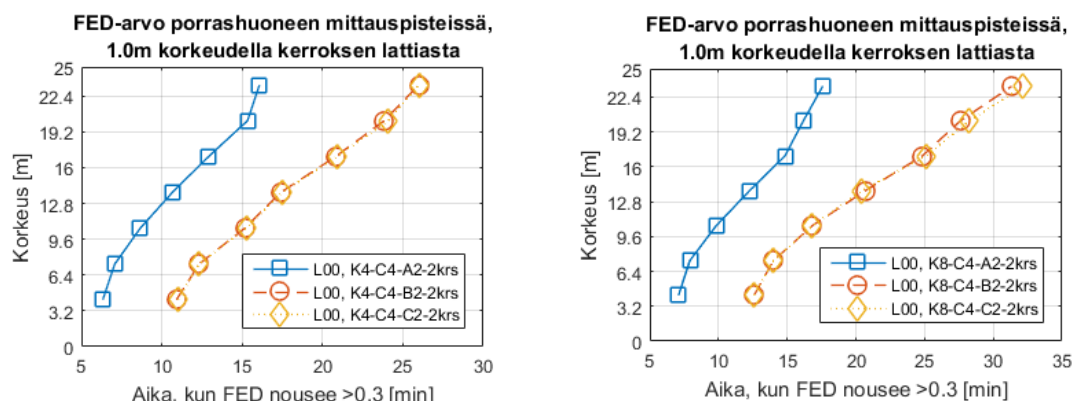


Kuva 48. Leikkauskuva näkyvyydestä neljän metrin pituisten käytävien tapauksissa (K4-C3) ajankhetkellä $t=5$ min. Leikkauslinja jakaa porrashuoneen puoliksi, kulki myös palavan asunnon läpi. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avataan noin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

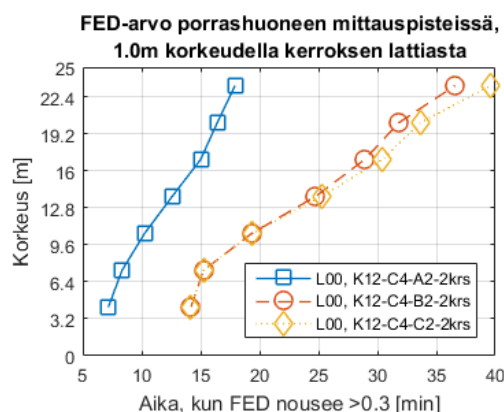


Kuva 49. Leikkauskuva näkyvyydestä neljän metrin pituisten käytävien (K4-C3) tapauksissa ajankhetkellä $t=45$ min. Leikkauslinja kulkee käytävien keskilinjaa pitkin koko käytävän pituuden matkan. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin noin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

FED-arvokuvaajia (Kuvat 50 ja 51) tutkimalla on nähtävissä samoin kuin savun leviämisenkin tapauksessa, että suurempi paloteho tuottaa enemmän haitallisia savukaasuja ja lämpöä porrashuoneeseen ja siksi FED-arvo nousee nopeammin 4000 kW palotehon tapauksessa. Myöskin tapausten B2 ja C2 kuvaajat mukailevat toisiaan niin ensimmäisten 21 minuutin ajan kuin myös sen jälkeenkin. FED-arvoja vertailtaessa on kuitenkin huomioitava, että palokunta saapuu jo 15 minuutin kuluttua palon syttymisestä ja FED-arvon kasvua ei tämän jälkeen ole kovinkaan järkevää vertailla kuten aiemmin todettiin. Tämän lisäksi FED-arvojen välille ei ehdi muodostua eroja myöskään simulointien identtisyyden takia ensimmäisten 21 minuutin aikana.



Kuva 50. Kuvaajissa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,3:n kuluva aika palon syttymisestä, neljän metrin (vas.) ja kahdeksan (oik.) metrin pituisissa käytävissä. Kuvaajien arvot saatiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnasta olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 51. Kuvaajassa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,3:n kuluva aika palon syttymisestä, 12 metrin pituisissa käytävissä. Kuvaajien arvot saatiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnasta olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.

6.5 Porrashuoneen savunpoiston tehostaminen siirrettävällä puhaltimella

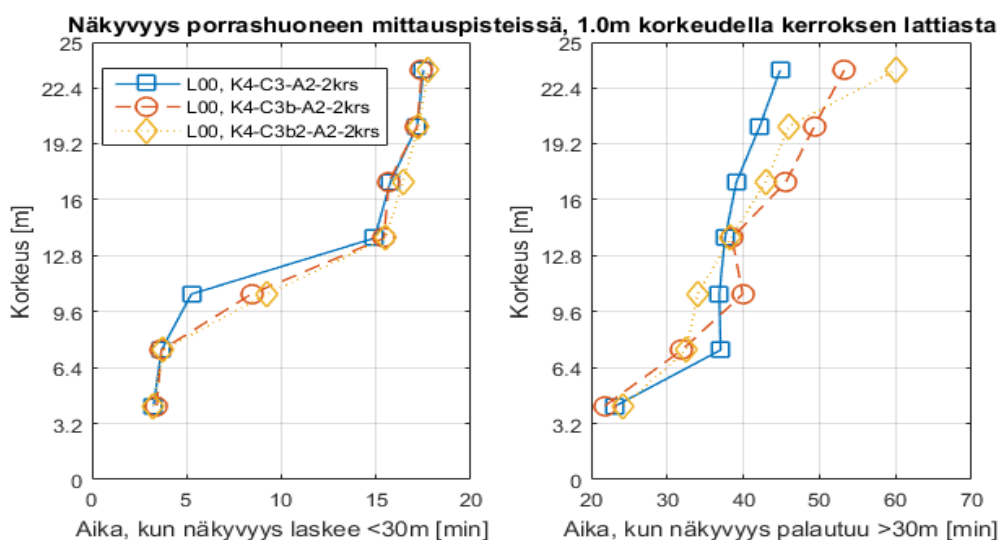
Vertailtaessa savun poistumiseen porrashuoneesta vaadittuja aikoja, sekä erilaisilla puhaltimilla että ilman puhaltimia, nähdään, ettei puhaltimen käyttäminen nopeuta savun poistumista vaan pikemminkin hidastaa sitä. Ero tapausten välillä on suurin tilanteissa, kun palavan asunnon kerrostaso-ovi avataan vasta palokunnan toimesta (Kuvat 52, 54 ja 57), mutta puhaltimen käyttö hidastaa savun poistumista myös tilanteissa, joissa palavan asunnon kerrostaso-ovi on koko palon ajan auki (Kuvat 55 ja 57). Etsittäessä eroja erityyppisten puhaltimien välillä taas vastaavasti huomataan, että vakioilmavirran antava ns. sukkapuhallin hidastaa savunpoistumista rakennuksen ylimmistä kerroksista enemmän kuin ns. perinteinen puhallin.

Tulokset ikkunan avauksen vaikutuksista puhaltimien toimintaan on esitetty vain 8 m pitkälle käytävälle (Kuvat 58 ja 59), mutta tulokset ovat yhteneviä kaikilla kolmella simuloidulla käytävän pituudella. Kuvaajista nähdään, että mikäli palavan asunnon ik-

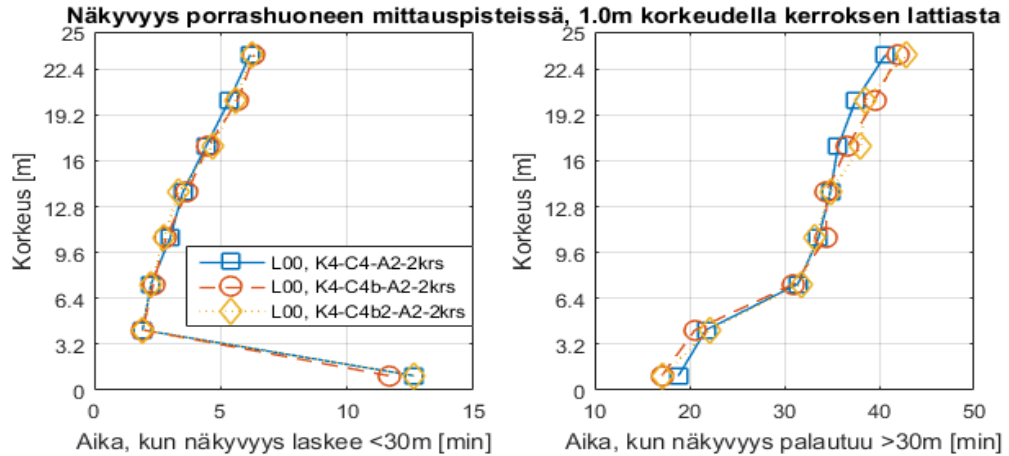
kuna avataan sammutuksen aikana ja samalla käytetään puhallinta, hidastuu savunpoistuminen porrashuoneesta merkittävästi verrattuna tilanteeseen jossa puhaltimia ei käytettäisi. Vastaavaa ilmiötä ei tapahdu kuitenkaan tilanteissa, joissa palavan asunnon ikkuna pysyy koko ajan suljettuna. Huomioitavaa on kuitenkin, että molemmissa tapauksissa savun poistuminen palokerroksesta (2.krs) tehostui hiukan käytettäessä puhaltimia ja siksi puhaltimen käyttö voi olla tähän tarkoitukseen perusteltua, mutta savun poistumisen tehostamiseen koko porrashuoneesta ja sivukäytävistä ei.

Syynä puhaltimien porrashuoneen savunpoistoa heikentävään vaikutukseen voidaan olettaa niiden porrashuoneeseen luoma pieni ylipaine. Puhaltimet tehostavat ilman virtausta porrashuoneessa sen ulko-ovelta katossa olevalle savunpoistoluukulle. Samalla toisesta päädystään umpinaisiin sivukäytäviin muodostuu pieni ylipaine ja virtausnopeudet hidastuvat niissä merkittävästi. Näin savu jää leijumaan sivukäytäviin pidemmäksi aikaa kuin tilanteissa, joissa porrashuoneen virtausta ei tehosteta.

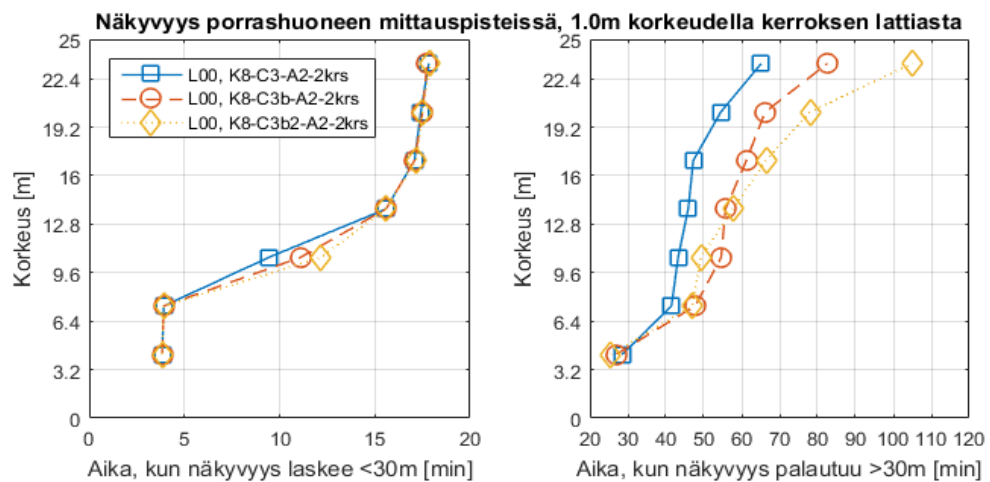
Saadut simulointitulokset siirrettäville puhaltimille koskevat vain tilannetta, joissa puhallin sijoitetaan porrashuoneen ulko-ovelle ja pidetään käynnissä niin kauan, kunnes savu oli poistunut koko rakennuksesta. Näin ollen, koska puhaltimen käyttöä tarkasteltiin vain savun poistumisen kannalta, ei työstä saatujen tulosten pohjalta voidakaan sanoa, etteikö puhaltimen käytöstä olisi hyötyä esimerkiksi erilaisissa tilanteissa tai eri tarkoitukseen kuin savun poistumisen tehostamiseen.



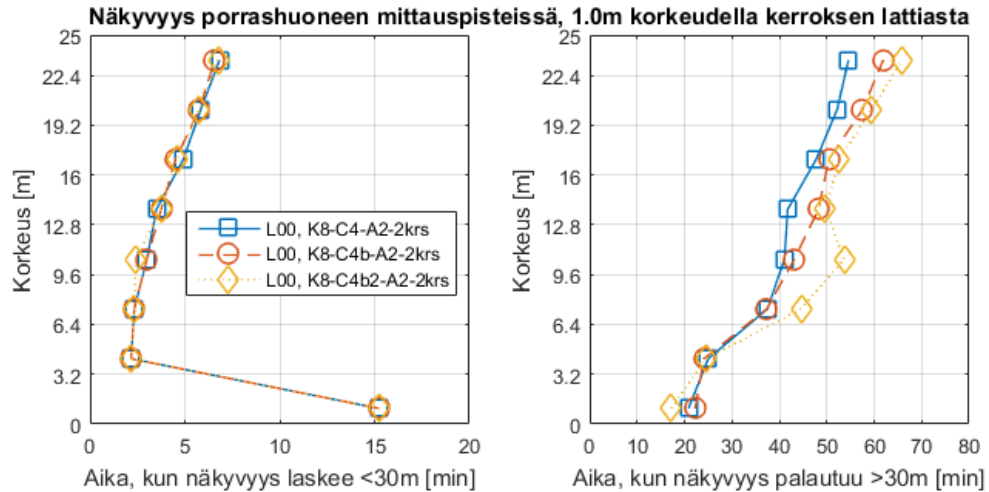
Kuva 52. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin neljää metriä ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



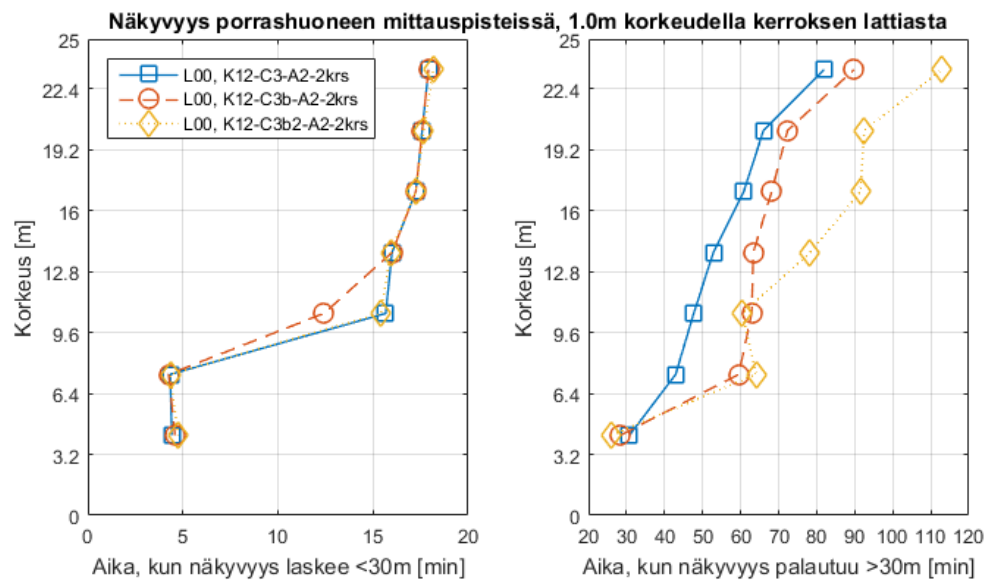
Kuva 53. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin neljää metriä ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



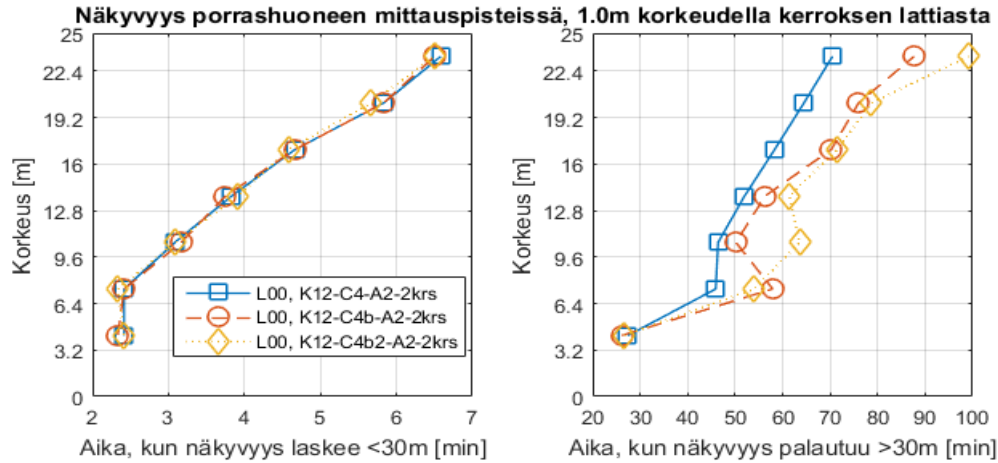
Kuva 54. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin kahdeksaa metriä ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



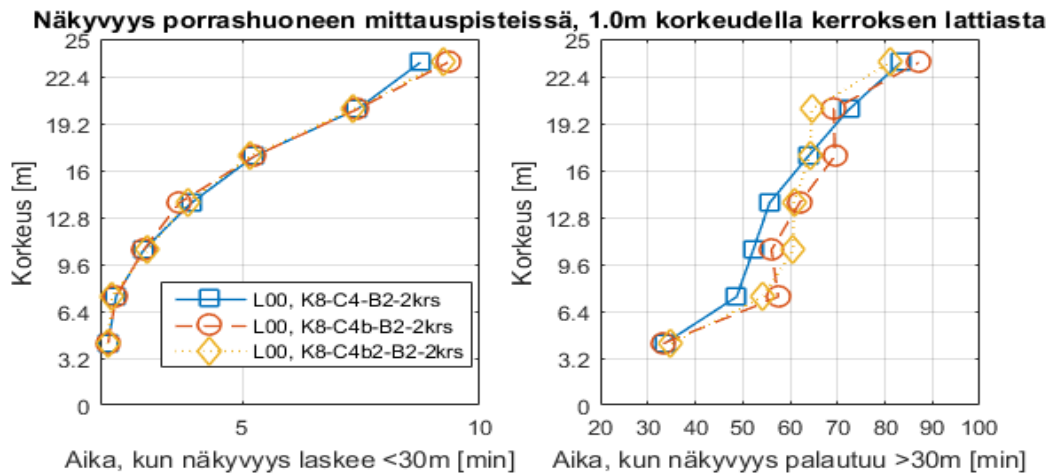
Kuva 55. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin kahdeksaa metriä ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiatpinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



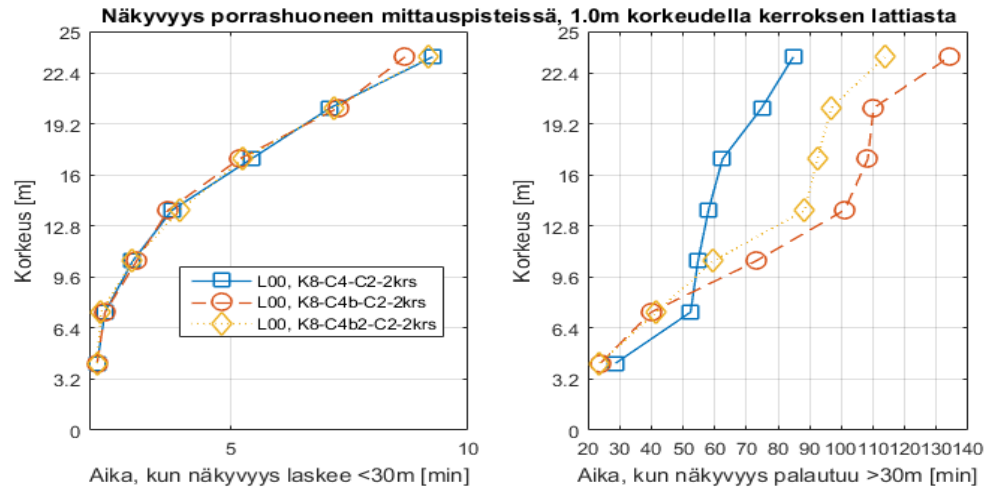
Kuva 56. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin 12 metriä ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiatpinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



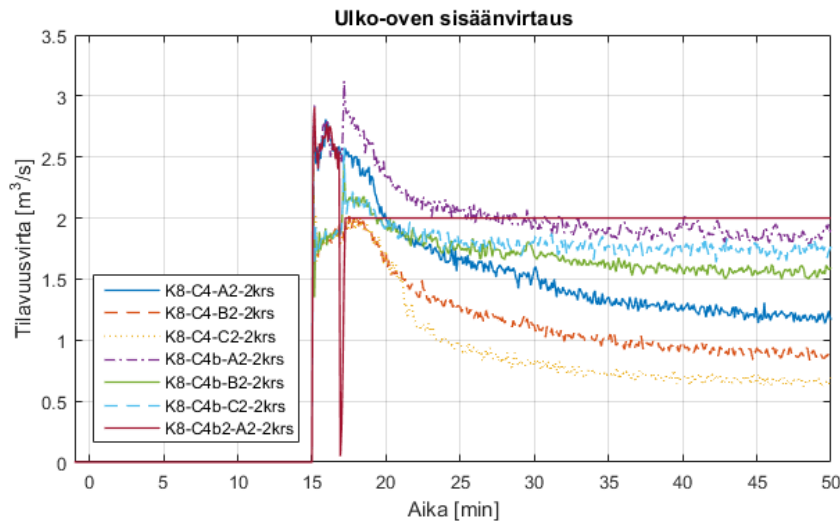
Kuva 57. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin 12 metriä ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



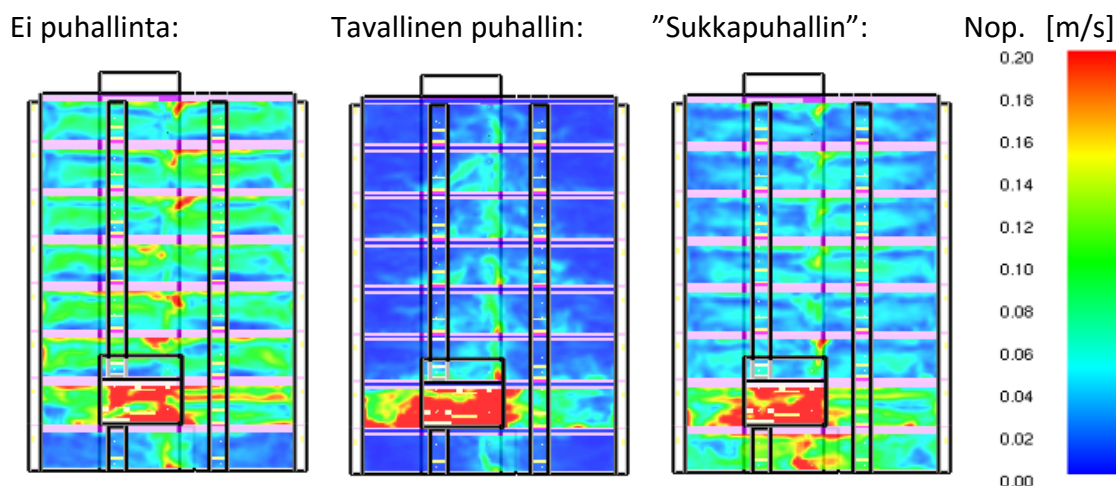
Kuva 58. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin kahdeksaa metriä, palavan asunnon ikkuna pidettiin suljettuna koko ajan ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 59. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Molemmissa tapauksissa käytävän pituutena käytettiin kahdeksaa metriä, asunnon ikkuna avattiin 21 minuutin kuluttua palon syttymisestä ja käytettyä siirrettävää puhallinta vaihdeltiin. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiatpinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 60. Porrashuoneen ulko-oven kautta porrashuoneeseen virtaava tilavuusvirta kahdeksanmetrisen käytävän tapauksessa, kun asunnon kerrostaso-ovi on ollut koko palon ajan auki. Ns. sukkapuhaltimen simuloinneista on esitetty vain yksi tapaus (C4b2), sillä tilavuusvirta on näille kaikille tapauksille 21 minuutin jälkeen sama $2 \text{ m}^3/\text{s}$.



Kuva 61. Leikkauskuva virtausnopeuksista kahdeksan metrin pituisissa käytävissä (K8-C3-A2, K8-C3b-A2 ja K8-C3b2-A2) ajanhetkellä $t=45$ min, kun savun poistumista yritettiin nopeuttaa suun-
tapainepuhaltimien avulla. Leikkauslinja kulkee käytävien keskilinjaa pitkin koko käytävän pituuden matkan. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin noin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

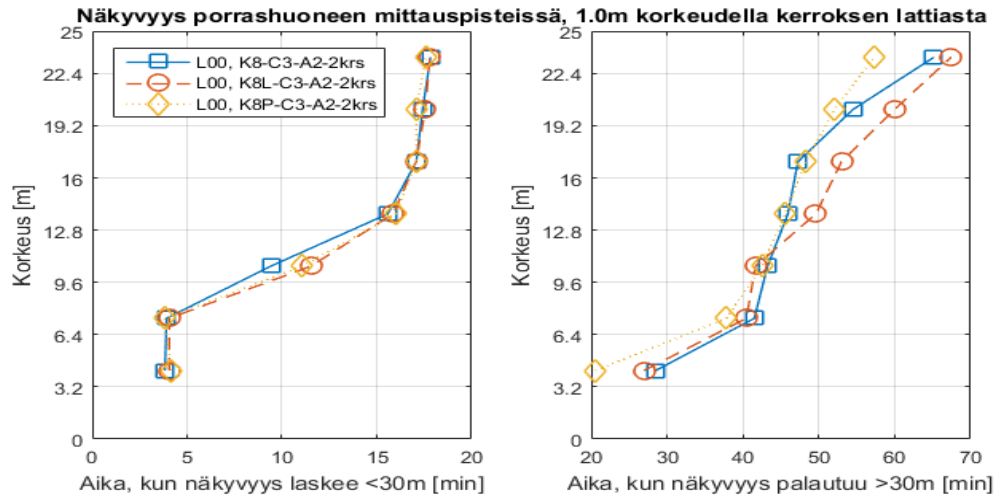
6.6 Käytävässä olevan mutkan ja avoportaan vaikutus

90 asteen mutkan lisäämisellä käytävän puoleen väliin näyttää olevan pieni hidastava vaikutus savun poistumisnopeuteen. Ero vaikutuksissa porrashuoneen olosuhteisiin mutkallisen ja mutkattoman käytävän välillä on kuitenkin hyvin vähäinen, mutta sitä vastoin selkeämpi ero syntyy vertailtaessa savun poistumisen vaatimia aikoja käytävistä (Kuva 64). Tässäkin tapauksessa selkeä ero tapausten välillä on näkyvissä vain ylimpien kolmen kerroksen kohdalla. Vaikka mutka vaikuttaa hieman savun poistumisnopeuteen ylimmistä kerroksista, ei sillä tulosten mukaan ole kuitenkaan samanlaista vaikutusta porrashuoneen FED-arvoon (Kuva 65). Kuvaajien mukaan mutkallisen käytävän tapauksessa FED-arvo nousisi aavistuksen hitaammin kuin mutkattoman käytävän kohdalla, mutta ajalliset erot ovat kuitenkin hyvin pieniä. Näin ollen käytävässä olevan mutkan voidaan todeta hidastavan savun leviämistä ja poistumista vain marginaalisesti, sillä erot mm. savun poistumisajoissa ovat vain noin viiden minuutin suuruisia.

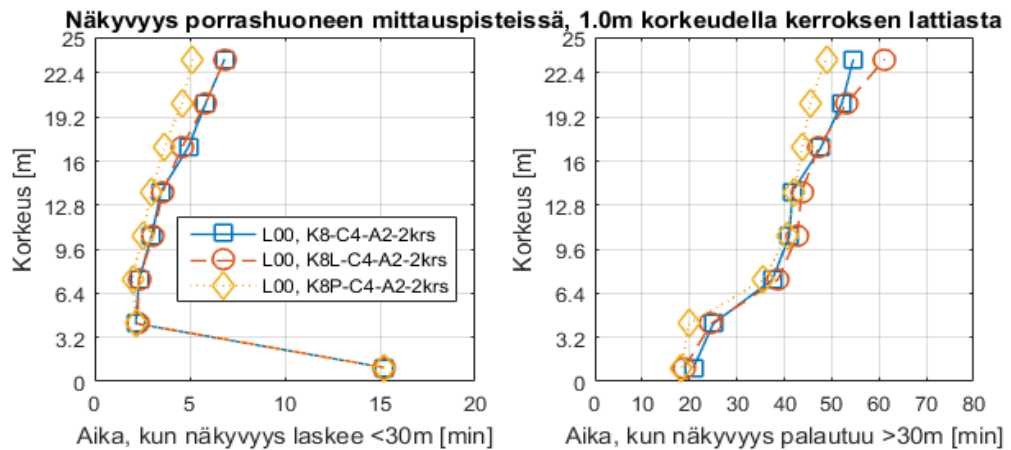
Vaihtamalla simuloinneissa käytetyn umpiportaan tilalle hieman avonaisemman porrasmallin havaitaan sekä savun leviämisen että poistumisen porrashuoneesta nopeutuvan. Tämä näkyy selvimmin tapauksissa, joissa porrashuoneeseen tulevaa savua on runsaasti (Kuvat 63 ja 64). Ero erilaisten portaiden vaikutuksessa savun leviämiseen ja poistumiseen selittyy avoportaan pienemmällä virtausvastuksella, joka mahdollistaa suuremman tilavuusvirtauksen porrashuoneessa. Eron voi havaita esimerkiksi vertailemalla porrashuoneen ulko-oven kautta porrashuoneeseen tulevia ilmavirtoja (Kuva 66). Avonaisemman portaan voidaan todeta tehostavan porrashuoneen savunpoistoa, mutta samalla se myös mahdollistaa savun hieman nopeamman leviämisen porrashuoneessa. Simulointituloksia katsomalla avonaisemman porrasmallin hyötyjen savunpoistoon voidaan kuitenkin katsoa olevan hieman suuremmat kuin sen haittavaikutusten simuloitujen tapausten yhteydessä.

Savun poistumisen vaatimat kokonaisajat kaikkialta porrashuoneesta sekä käytävistä nähdään kuvasta 67. Savun poistumisajat (palon syttymisestä) eri tilanteissa ovat:

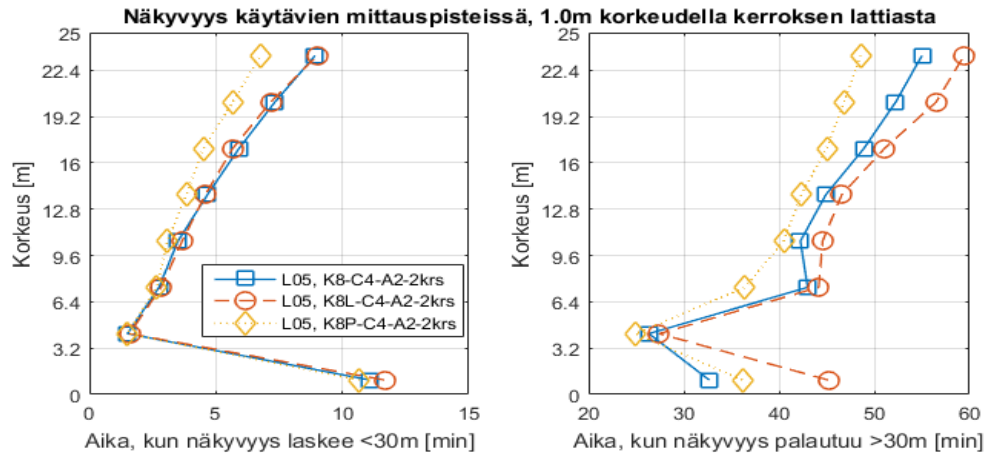
- 8 metrin käytävä mutkalla ja ovi kiinni (t=17min asti): 75 minuuttia 53 sekuntia
- 8 metrin käytävä mutkalla ja ovi auki: 64 minuuttia 40 sekuntia
- 8 metrin käytävä, avoporras ja ovi kiinni (t=17min asti): 61 minuuttia 20 sekuntia
- 8 metrin käytävä, avoporras ja ovi auki: 52 minuuttia 25 sekuntia.



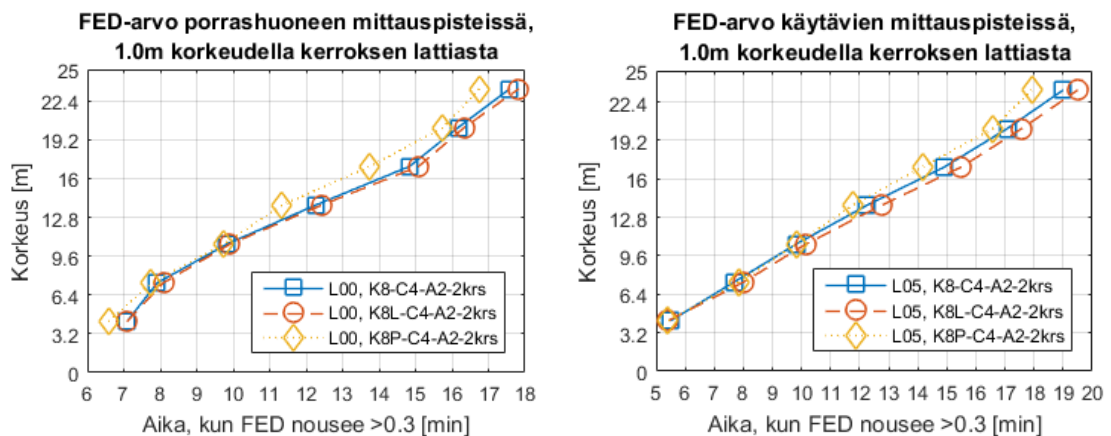
Kuva 62. Kuvaajissa on vertailtu kahdeksan metriä pitkässä käytävässä olevan mutkan ja avoportaan vaikutuksia näkyvyyden laskemiseen porrashuoneessa alle 30 metriin (vas.) ja palautumiseen takaisin yli 30 metriin kuluva aika eri kerroksissa. Havainnointipisteinä käytettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiasta olevia mittauspisteitä. Palavan asunnon kerrostasovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.



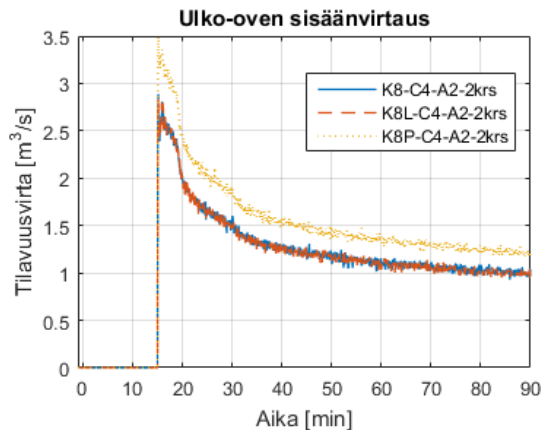
Kuva 63. Kuvaajissa on vertailtu kahdeksan metriä pitkässä käytävässä olevan mutkan ja avoportaan vaikutuksia näkyvyyden laskemiseen porrashuoneessa alle 30 metriin (vas.) ja palautumiseen takaisin yli 30 metriin kuluva aika eri kerroksissa. Havainnointipisteinä käytettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiasta olevia mittauspisteitä. Palavan asunnon kerrostasovi pidettiin auki koko palon ajan.



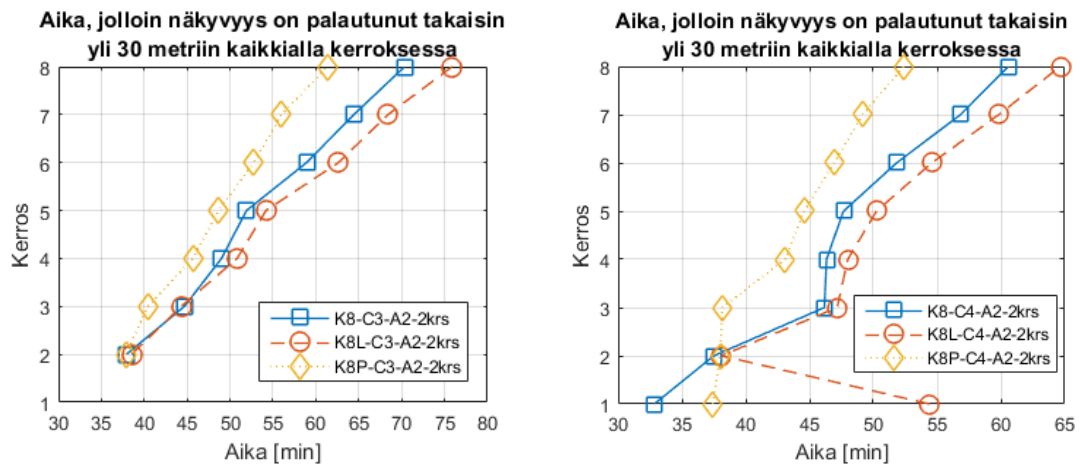
Kuva 64. Kuvaajissa on vertailtu kahdeksan metriä pitkässä käytävässä olevan mutkan ja avoportaalan vaikutuksia näkyvyyden laskemiseen käytävän päässä alle 30 metriin (vas.) ja palautumiseen takaisin yli 30 metriin kuluva aika eri kerroksissa. Havainnointipisteinä käytettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiasta olevia mittauspisteitä. Palavan asunnon kerrostasovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 65. Kuvaajissa on vertailtu kahdeksan metriä pitkässä käytävässä olevan mutkan ja avoportaalan vaikutuksia FED-arvon nousemiseen yli 0,3:n kuluva aika porrashuoneessa (vas.) ja käytävän päässä (oik.). Havainnointipisteinä käytettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiasta olevia mittauspisteitä. Palavan asunnon kerrostasovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 66. Eri tapauksissa porrashuoneen ulko-ovesta sisään virtaava ilmamäärä.



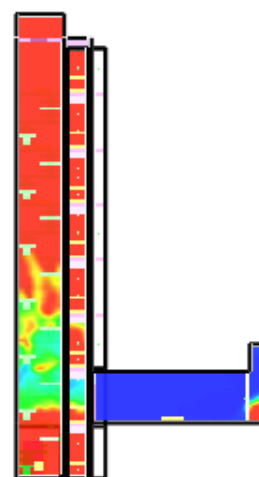
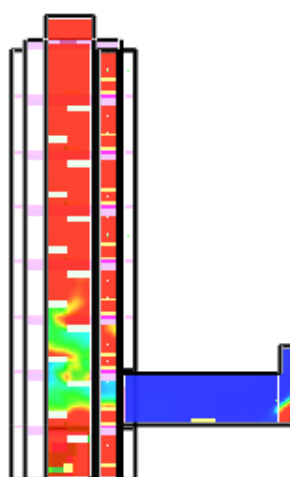
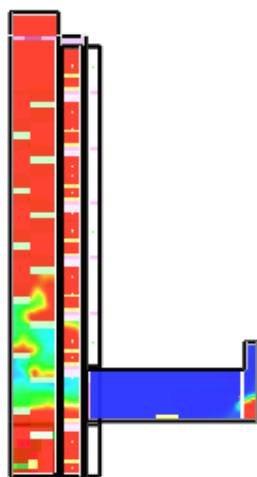
Kuva 67. Kuvaajissa on esitetty eri tapausten vaatima aika, jolloin kaikissa kerroksen mittauspisteissä näkyvyys palautui takaisin yli 30 metriin. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä (vas.) ja kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).

Perustapaus:

Mutkallinen käyt.:

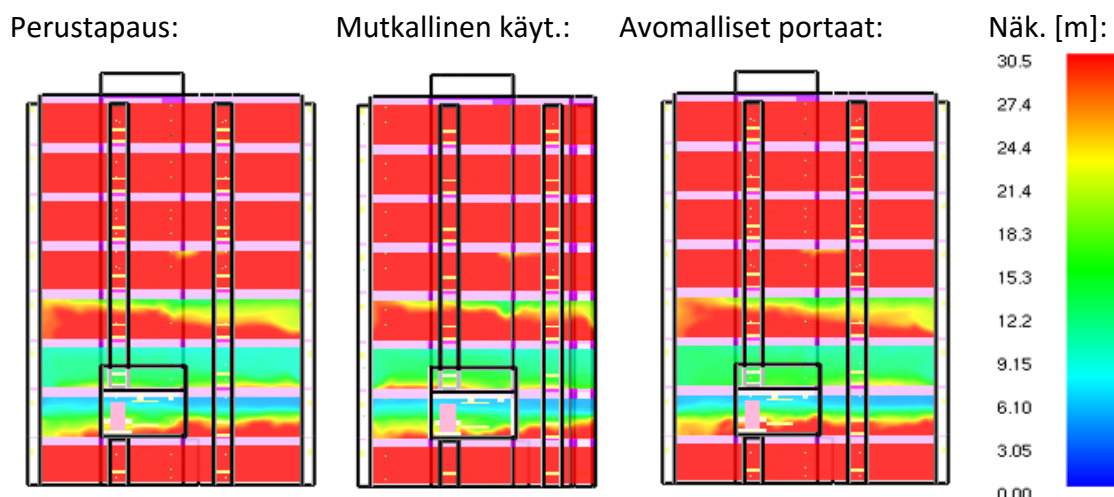
Avomalliset portaat:

Näk. [m]:



30.5
27.4
24.4
21.4
18.3
15.3
12.2
9.15
6.10
3.05
0.00

Kuva 68. Leikkauskuva näkyvyydestä kahdeksan metrin pituisten käytävien tapauksissa (K8-C3-A2, K8L-C3-A2 ja K8P-C3-A2) ajanhetkellä $t=5$ min. Leikkauslinja jakaa porrashuoneen puoliksi, kulkien myös palavan asunnon läpi. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avataan noin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.



Kuva 69. Leikkauskuva näkyvyydestä kahdeksan metrin pituisten käytävien tapauksissa (vasemmalla K8-C3-A2, keskellä K8L-C3-A2 ja oikealla K8P-C3-A2) ajanhetkellä $t=45$ min. Leikkauslinja kulkee käytävien keskilinjaa pitkin koko käytävän pituuden matkan. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin noin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

6.7 Käytävien erottaminen porrashuoneesta savuovin

Savuoven lisääminen jokaiseen käytävään estää tehokkaasti savun leviämisen palavaan asuntoon yhteydessä olevasta käytävästä muuhun porrashuoneeseen ja toisiin sivukäytäviin. Savu pääsee porrashuoneeseen vasta palokunnan avatessa käytävän savuoven noin 17 minuutin kohdalla (Kuvat 70 ja 71). Savuovien lisäämisellä käytäviin näyttää olevan myös huomattava vaikutus savun poistumisnopeuteen porrashuoneesta. Aiemmin porrashuoneeseen suoraan yhteydessä olleiden käytävien tapauksessa savun poistumisnopeus porrashuoneesta vaihteli selvästi riippuen siihen yhteydessä olevien käytävien pituudesta. Nyt savu poistuu porrashuoneesta kaikilla käytävän pituuksilla lähes yhtä nopeasti.

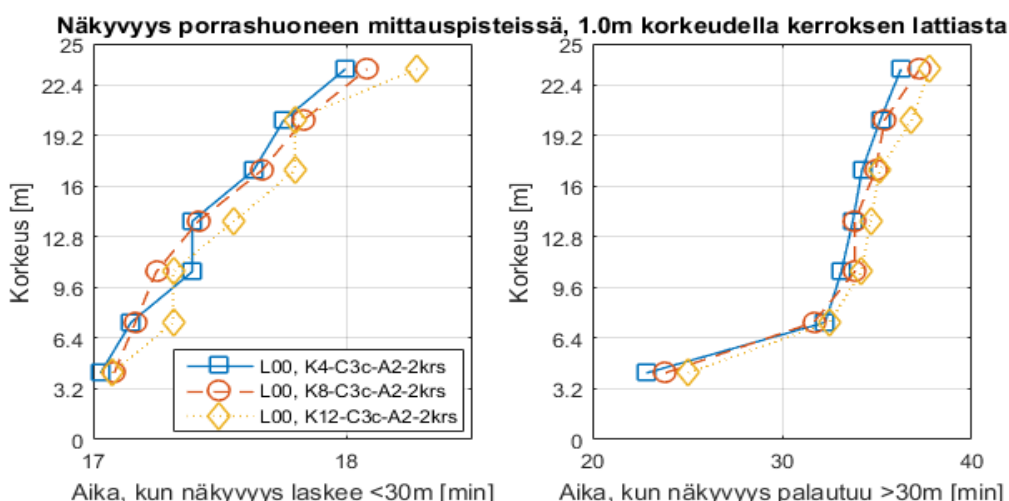
Kun vertaillaan savun poistumiseen vaadittua aikaa ovellisten ja ovettomien käytävien välillä (Kuvat 72, 73, 74 ja 75), nähdään savuoven lisäämisen pienentävän savun poistumiseen tarvitsemää aikaa selvästi. Ajallisesti merkitys myös näyttää kasvavan käytävän pituuden kasvaessa. Katsottaessa tarkemmin näkyvyyden palautumisen takaisin yli 30 metriin koko rakennuksessa tarvittavia aikoja (Kuva 76), nähdään että savuovien lisääminen myös poistaa palavan asunnon kerrostaso-oven avautumishetken merkityksen olosuhteiden kehittymiseen porrashuoneesta. Näkyvyyden palautumiseen takaisin yli 30 metriin kuluvat kokonaisajat (palon syttymisestä) eri tapauksissa olivat seuraavat:

- 4 metrin käytävä ja asunnon kerrostaso-ovi kiinni: 37 minuuttia 58 sekuntia
- 4 metrin käytävä ja asunnon kerrostaso-ovi auki: 37 minuuttia 29 sekuntia
- 8 metrin käytävä ja asunnon kerrostaso-ovi kiinni: 38 minuuttia 45 sekuntia
- 8 metrin käytävä ja asunnon kerrostaso-ovi auki: 37 minuuttia 40 sekuntia
- 12 metrin käytävä ja asunnon kerrostaso-ovi kiinni: 39 minuuttia 44 sekuntia
- 12 metrin käytävä ja asunnon kerrostaso-ovi auki: 43 minuuttia 6 sekuntia

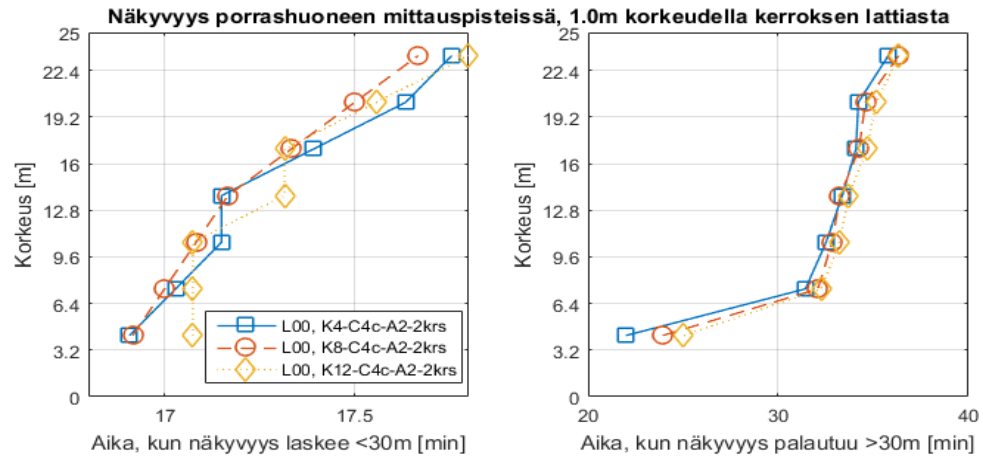
Tarkasteltaessa olosuhteita palavaan asuntoon yhteydessä olevassa käytävässä ja vertaillaessa niitä ovellisen ja ovetoman käytävän kesken voidaan helposti nähdä, etteivät olosuhteet poikkea toisistaan niin merkittävästi kuin voisi olettaa. Erityisesti palavan

asunnon kerrostaso-oven ollessa koko ajan auki käytävään olosuhde-erot ovellisen ja ovettoman käytävän välillä ovat kaikilla kolmella mitatulla parametrilla (näkyvyys, FED ja lämpötila) todella vähäisiä (Kuvat 77, 78 ja 79). Sitä vastoin jos asunnon kerrostaso-ovi pidetään suljettuna, heikkenevät käytävän olosuhteet erityisesti näkyvyyden osalta selvästi nopeammin ovellisen käytävän tapauksessa. Tästäkin huolimatta FED-arvon nousu on melko hidasta, sillä 15 minuutissa se on noussut käytävässä vasta noin 0,3:een. Tilanteessa FED-arvon nousua hillitsisi vielä lisää se, että asuntojen ulko-ovet olisivat mahdollisimman tiiviit, mutta tällöin kokonaisuuteen tulee myös huomioida palon alkuvaiheen paineen muodostumisen uhka mm. oven aukaisemiselle (Kallada 2016). Tiiviimmät asuntojen ovet vähentäisivät selvästi käytävään ja muihin asuntoihin joutuvan savun määrää, jolloin olosuhteet säilyvät parempina pidempään sekä käytävässä että sen varrella olevissa asunnoissa. Olosuhteiden heikkenemisnopeuden havaittiin myös hidastuvan käytävässä, kun sen pituutta kasvatettiin. Kuvista 79 ja 80, nähdään kuinka FED-arvo kasvaa huomattavasti hitaammin kahdeksan metriä pitkässä käytävässä kuin puolet lyhemmässä neljän metrin pituisessa käytävässä, silloin kun palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin kiinni.

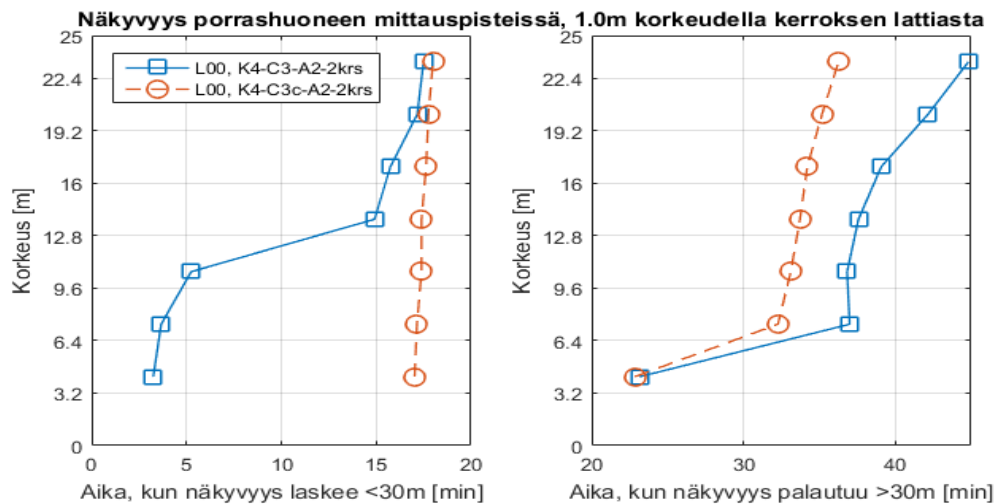
Jokaisen käytävän erottaminen omalla savuovellaan porrashuoneesta myös takaa järjestelmän turvallisen toiminnan mahdollisen toimintahäiriön tai vastaavan tilanteen yhteydessä, kun jokin savuovista ei sulkeudukaan. Mikäli viallinen savuovi on juuri palaavaan asuntoon yhteydessä oleva savuovi, on tilanne varmasti tällöin huonoin porrashuoneen olosuhteiden kannalta. Olosuhteiden muodostumista porrashuoneessa voidaan tässä tapauksessa tietyllä tarkkuudella havainnollistaa neljän metrin pituisille ja ovettomille käytäville suoritettujen simulointien avulla. Näistä simuloinneista saadut tulokset ovat kuitenkin liian hitaita savun leviämisen ja poistumisen osalta, sillä muut sulkeutuneet käytävien savuovet pienentävät pinta-alaa ja tilavuutta mihin savu pääsee leviämään. Tällaisessakin tilanteessa, vaikka savu leviäisi koko porrashuoneeseen, muut toimivat ovet nopeuttavat porrashuoneen tyhjenemistä savusta ja myös vähentävät savun kulkeutumista muiden käytävien varrella oleviin asuntoihin.



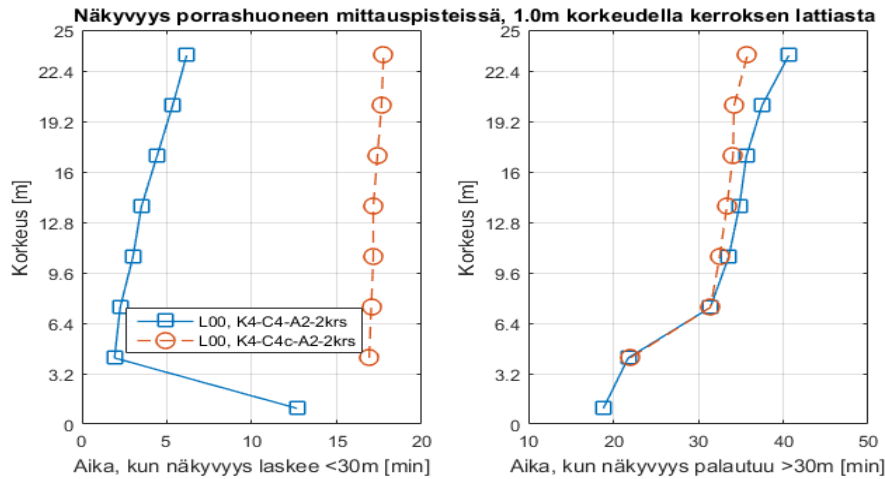
Kuva 70. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi ja siihen yhteydessä olevan käytävän savuovi avattiin noin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



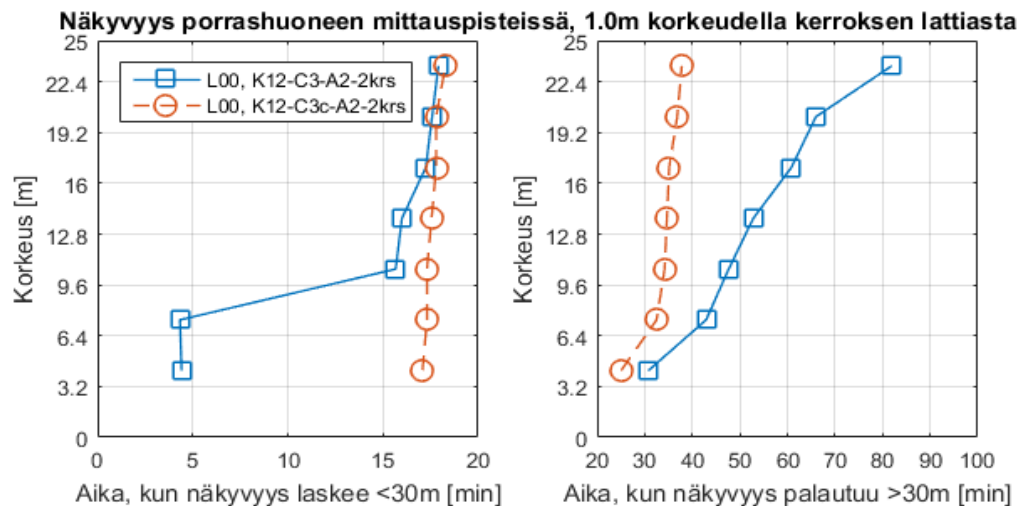
Kuva 71. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan ja siihen yhteydessä olevan käytävän savuovi avattiin noin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



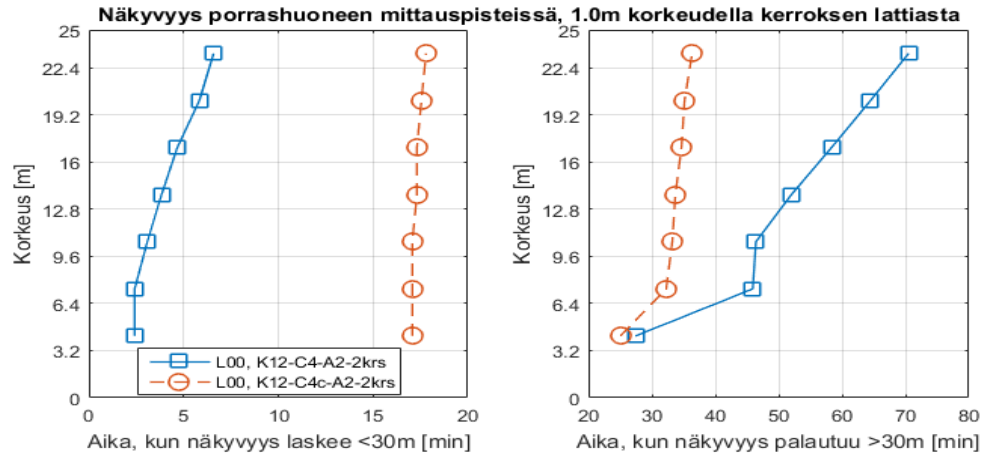
Kuva 72. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Käytävien pituuksina kuvaajissa on käytetty neljää metriä. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi ja siihen yhteydessä olevan käytävän savuovi avattiin noin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



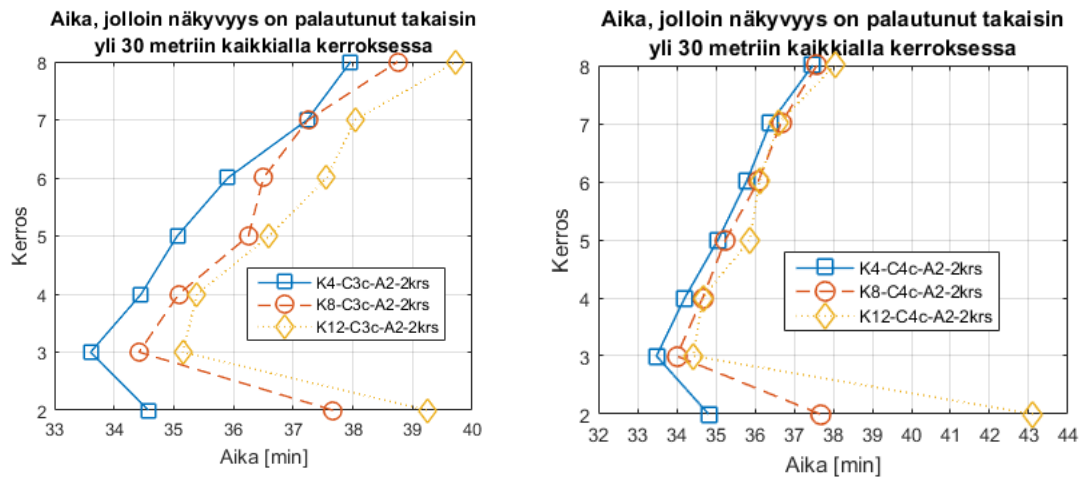
Kuva 73. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Käytävien pituuksina kuvaajissa on käytetty neljää metriä. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan ja siihen yhteydessä olevan käytävän savuovi avattiin noin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



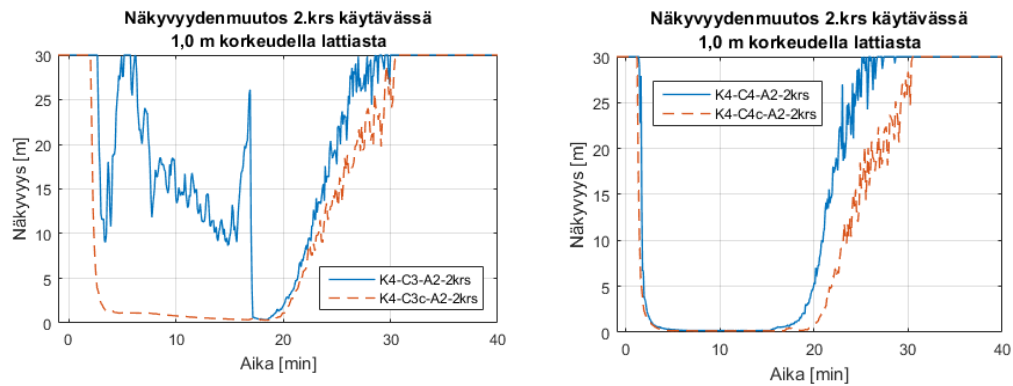
Kuva 74. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Käytävien pituuksina kuvaajissa on käytetty 12 metriä. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi ja siihen yhteydessä olevan käytävän savuovi avattiin noin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



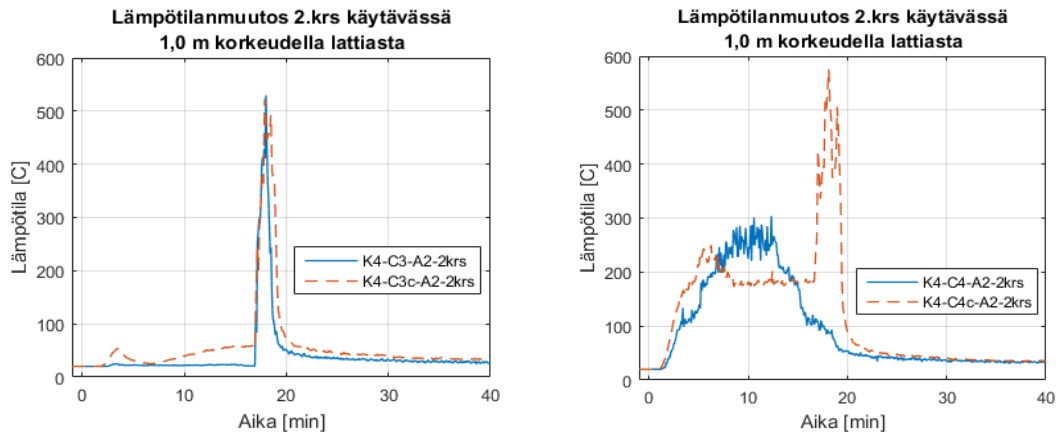
Kuva 75. Kuvaajissa on esitetty aika, jolloin savun heikentämä näkyvyys porrashuoneessa laskee alle 30 metriin (vas.) ja palautuu jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Käytävien pituuksina kuvaajissa on käytetty 12 metriä. Näkyvyyden muutoksen arvot määritettiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olevista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan ja siihen yhteydessä olevan käytävän savuovi avattiin noin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



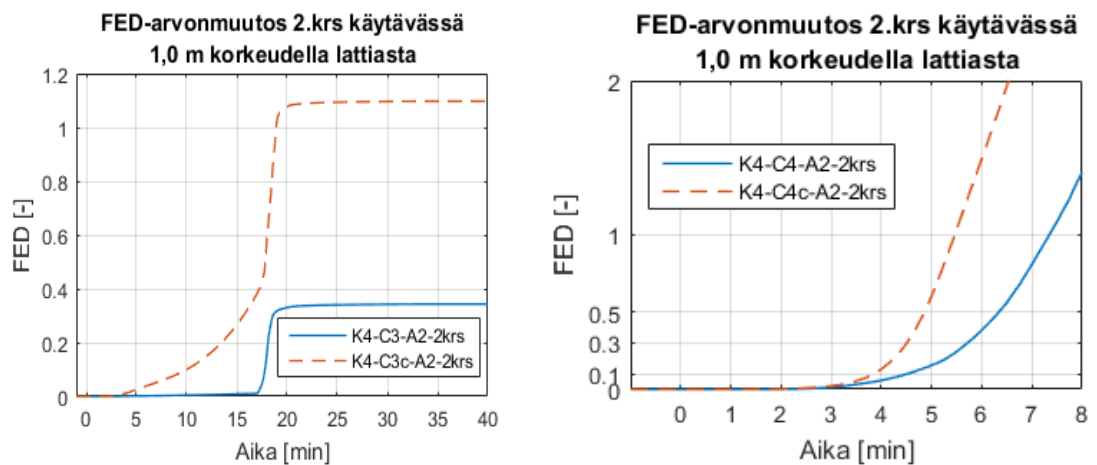
Kuva 76. Kuvaajissa on esitetty eripituisten käytävien vaatima aika, jolloin kaikissa kunkin kerroksen mittauspisteissä näkyvyys palautui takaisin yli 30 metriin. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin kiinni ensimmäiset 17 minuuttia palon syttymisestä (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).



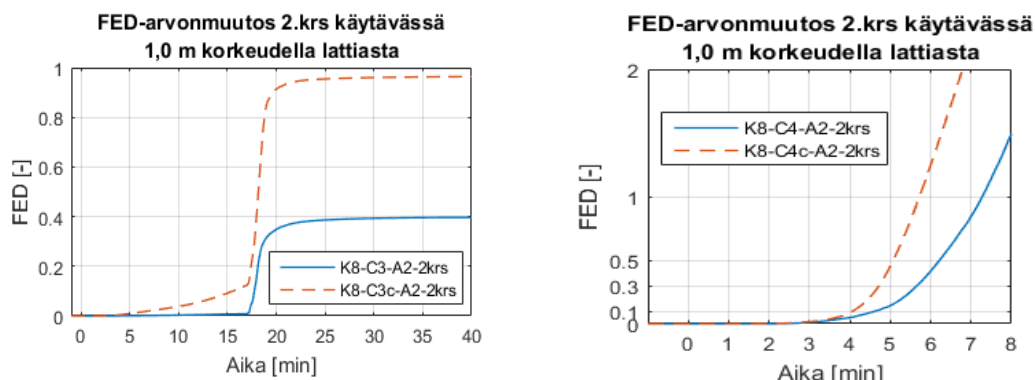
Kuva 77. Näkyvyyden muutos yhden metrin korkeudella lattian pinnasta, neljän metrin pituisessa, toisessa kerroksessa ja palavan asunnon puolella olevassa käytävässä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi ja käytävän savuovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi on auki koko palon ajan, mutta käytävän savuovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (oik.).



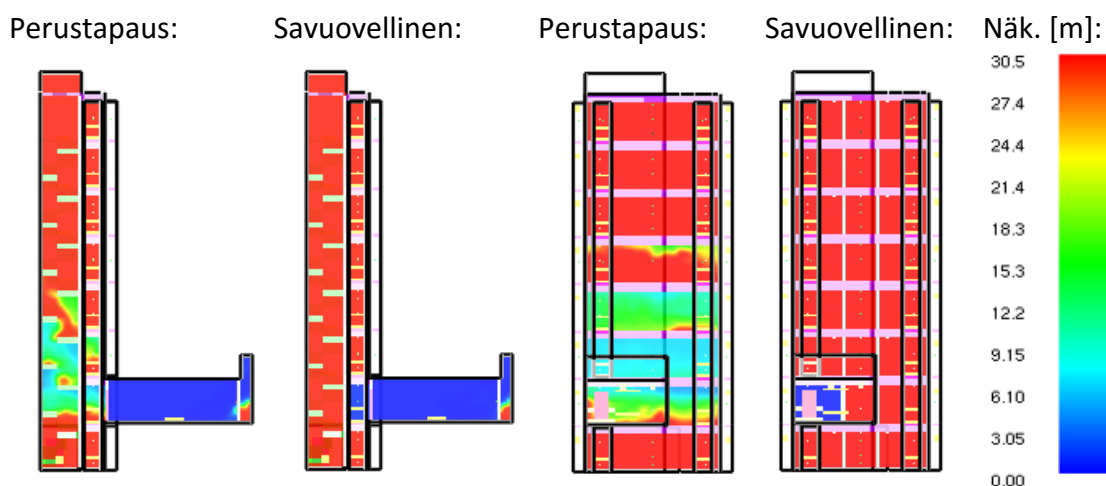
Kuva 78 Lämpötilan muutos yhden metrin korkeudella lattian pinnasta, neljän metrin pituisessa, toisessa kerroksessa ja palavan asunnon puolella olevassa käytävässä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi ja käytävän savuovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi on auki koko palon ajan, mutta käytävän savuovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (oik.).



Kuva 79. FED-arvon muutos yhden metrin korkeudella lattian pinnasta, neljän metrin pituisessa, toisessa kerroksessa ja palavan asunnon puolella olevassa käytävässä. Palavan asunnon ja käytävän ovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (vas.) ja palavan asunnon ovi on auki koko palon ajan, mutta käytävän ovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (oik.).



Kuva 80. FED-arvon muutos yhden metrin korkeudella lattian pinnasta, kahdeksan metrin pituudessa, toisessa kerroksessa ja palavan asunnon puolella olevassa käytävässä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi ja käytävän savuovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi on auki koko palon ajan, mutta käytävän savuovi avataan noin 17 minuutin kohdalla (oik.).



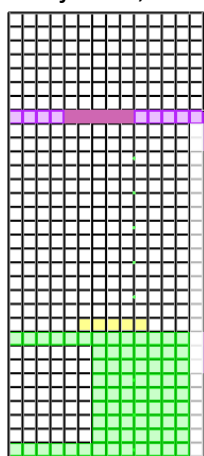
Kuva 81. Leikkauskuva näkyvyydestä neljän metrin mittaisissa käytävissä (K4-C3-A2 ja K4-C3c-A2), kun niissä ei ole (ensimmäinen ja kolmas kuva) ja on savuovet (toinen ja neljäs kuva). Kaksi vasemmanpuoleista kuvaa kuvaavat näkyvyyttä porrashuoneen keskeltä kulkevalla linjalla ajanhetkellä t=5 min. Oikeanpuoleiset kuvat taas havainnollistavat näkyvyyttä sivukäytävien keskipisteen kautta kulkevalla linjalla ajanhetkellä t=16,5 min. Kaikissa tapauksissa palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin vasta 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä.

6.8 Laskentaverkon tiheyden vaikutukset tuloksiin

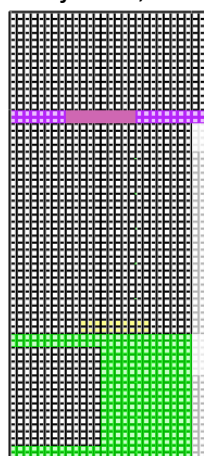
Kuvissa 83-88 on esitetty muutamia tuloksia erilaisilla laskentaverkon tiheyksillä. Tuloksista nähdään nopeasti, ettei niiden välillä ole käytännössä juurikaan eroa. Simulointituloksissa näkyvät pienet erot ovat tavanomaisia myös saman simuloinnin toistojen välillä ja siksi eri laskentaverkon tiheyksillä saatujen tulosten pientä eroavaisuutta voidaankin pitää suurimmalta osin tällaisena tavanomaisena simulointitulosten "kohinana". Jos eroja kuitenkin halutaan yksilöidä tarkemmin, niin selvimmät erot laskentaverkon tiheyden vaikutuksella havaittiin syntyvän tilanteissa, joissa palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin kiinni. Tällöin tiheämmän solujaon havaittiin antavan alhaisempia arvoja niin FED-arvoille, kuin myös tilavuusvirroille katossa olevan savunpoistoluukun kautta. Tulosten pienet erot selittynevät tiheämmän laskentaverkon paremmasta kyvystä kuvata mallissa toteutetut ilmavuodot. Vastaavaa eroa ei nähdä syntyvän tilanteissa, joissa tiheämpää laskentaverkkoa on käytetty vain porrashuoneen yläosaan. Kuten jo todettiin, erot ovat kuitenkin hyvin pieniä ja lopputuloksen kannalta merkityksettömiä ja siksi 0,2

m solujakoa voidaankin pitää tulosten tarkkuuden kannalta riittävänä. Lisäksi simulointien vaatima laskenta-aika säilyi tällä laskentaverkon tiheydellä kohtuullisena, sillä laskentaverkon tiheyden tuplaaminen nostaisi laskenta-ajan jopa 16-kertaiseksi.

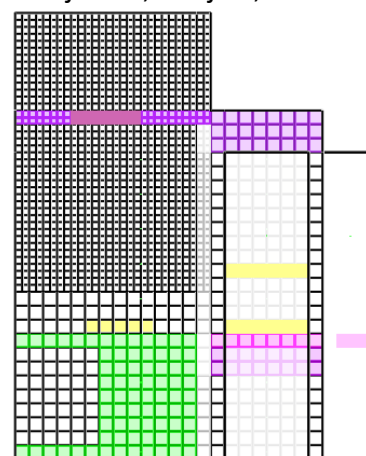
Solujako 0,2 m:



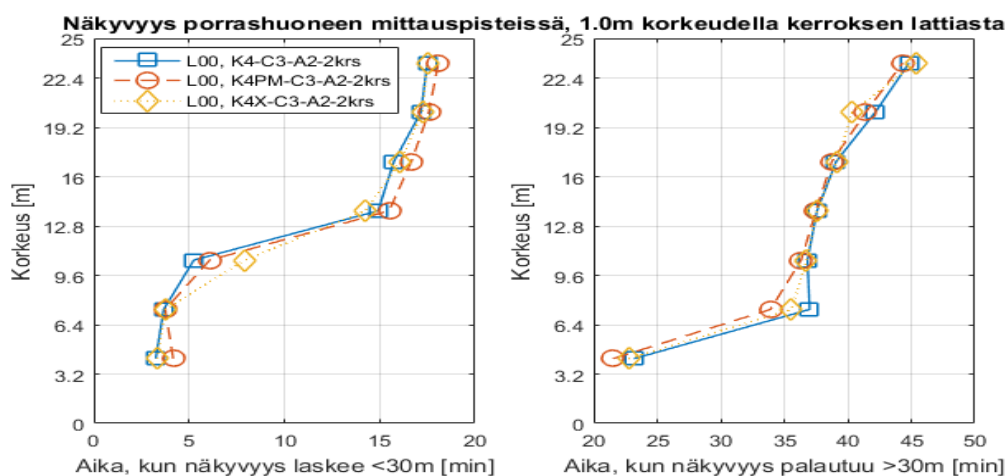
Solujako 0,1 m:



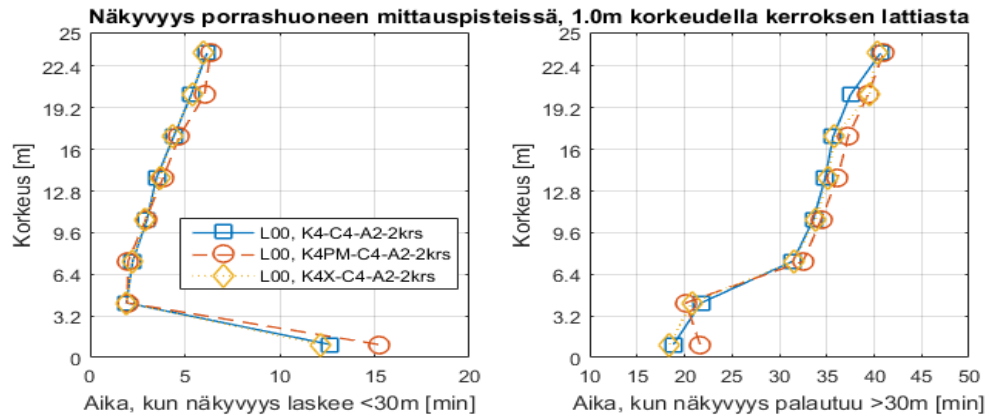
Solujako 0,2 m ja 0,1 m:



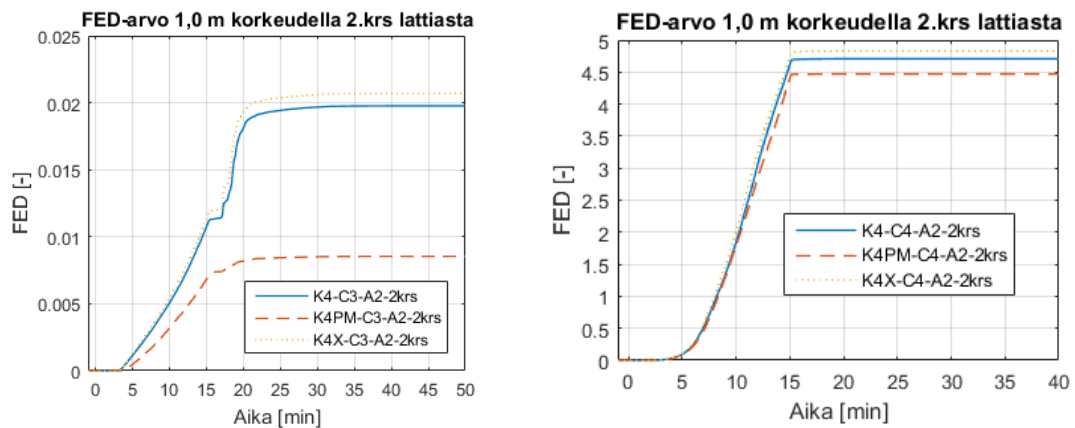
Kuva 82. Erilaiset simuloinneissa kokeillut laskentaverkon solujaot. Kuvan leikkauslinja kulkee porrashuoneen läpi sen pituuden puolesta välin ja lävistää lisäksi myös sivukäytävät. Kuvan oikeassa reunassa perustapaus, jossa solujako on 0,2 m. Keskellä solujako on kaikkialla 0,1 m. Oikealla kuvassa on esitetty tilanne, jossa solujako on muualla 0,2 m, mutta porrashuoneen yläosassa solujakona on käytetty 0,1 m.



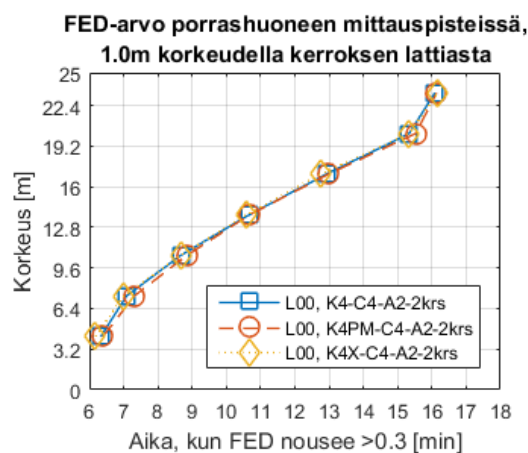
Kuva 83. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen eri laskentaverkoilla alle 30 metriin kuluva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



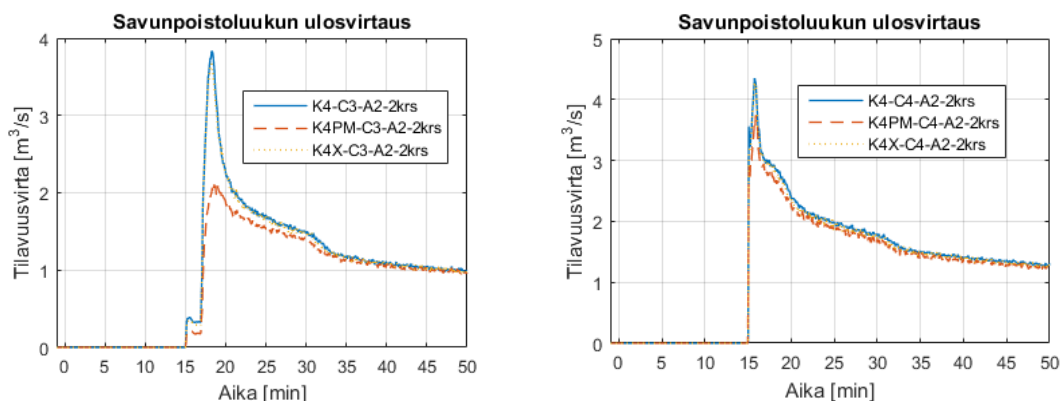
Kuva 84. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen eri laskentaverkoilla alle 30 metriin kuluva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



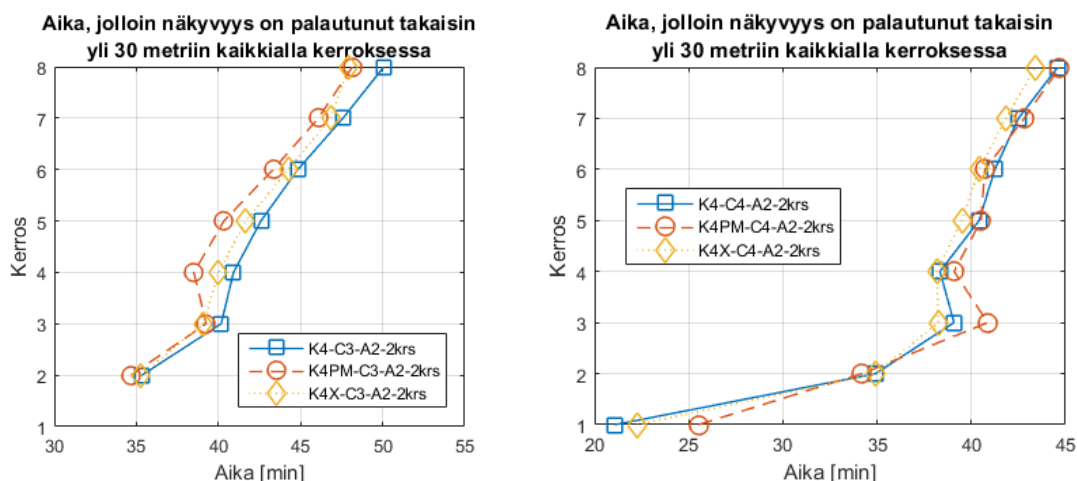
Kuva 85. Kuvaajassa on esitetty FED-arvon muutos porrashuoneen toisessa kerroksessa, neljän metrin pituisissa käytävissä. Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin yhden metrin korkeudella lattiapinnasta ollutta mittauspistettä. Asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä (vas.) ja kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).



Kuva 86. Kuvaajassa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,3:n kuluva aika palon syttymisestä, neljän metrin pituisissa käytävissä. Kuvaajien arvot saatiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnasta olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 87. Porrashuoneesta savunpoistoluukkujen kautta poistuva tilavuusvirta neljän metrin pituisista käytävistä erilaisilla laskentaresoluution tiheyksillä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisestä (vas.) ja asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).



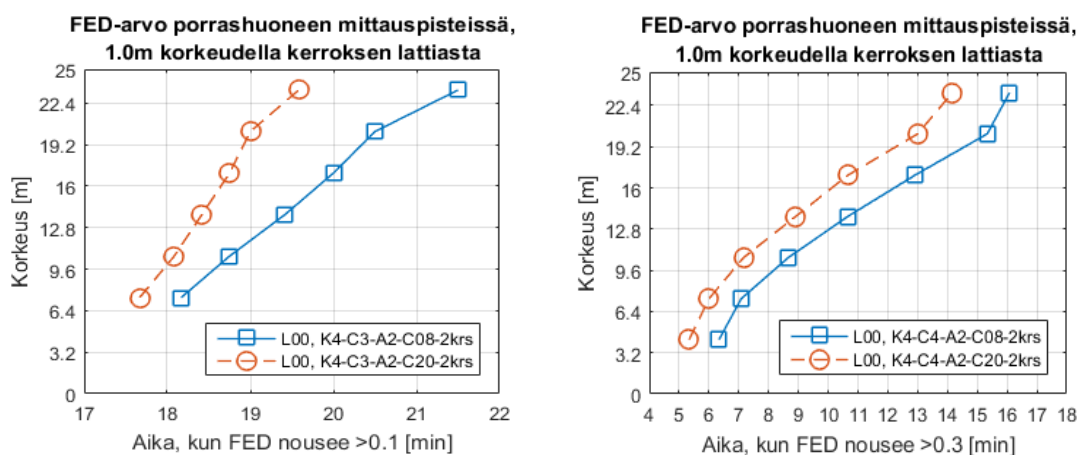
Kuva 88. Kuvaajassa on esitetty eri laskentaverkkojen vaatima aika, jolloin kaikissa kerroksien mittauspisteissä näkyvyys palautui takaisin yli 30 metriin. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).

6.9 Hiilimonoksidin tuoton kasvattamisen vaikutus olosuhteisiin

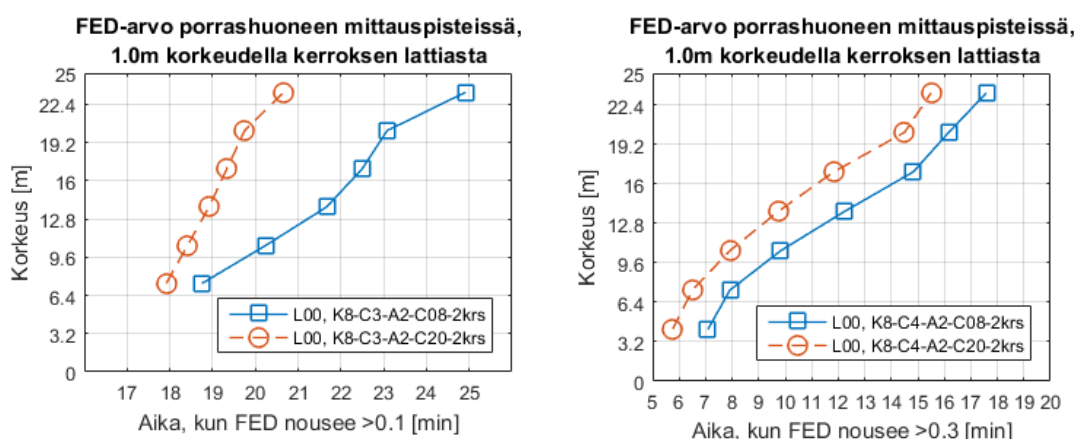
Hiilimonoksidin tuottoarvon muuttaminen arvosta 0,08 g/g arvoon 0,20 g/g, ei vaikuta syntyvän savun määrään eikä tällöin myöskään muuta savun leviämistä (Kuvat 94 ja 95). Toisaalta FED-arvoon hiilimonoksidin tuoton muuttamisella on selvä vaikutus. Esitettyjen kuvaajien (Kuvat 89-93) mukaan niissä tutkitut raja-arvot täyttyivät mittaustaikasta riippuen jopa useita minuutteja nopeammin suuremmalla hiilimonoksidin tuotolla. Ajallinen ero tuottoarvojen välillä kasvaa sitä suuremmaksi, mitä korkeammalle porrashuoneessa nousee sekä mitä vähäisempi määrä savua porrashuoneessa on. Käytävän pituuden lisääminen myös kasvattaa raja-arvojen täyttymiseen kuluva aikaeroa eri hiilimonoksidin tuottoarvojen välillä.

Suuremmasta hiilimonoksidin tuottoarvon käytöstä huolimatta FED-arvo säilyy suhteellisen alhaisena porrashuoneessa kaikissa tapauksissa, joissa palavan asunnon kerrostaso-ovi pysyy suljettuna ensimmäiset 17 minuuttia. Toisaalta jos palavan asunnon ker-

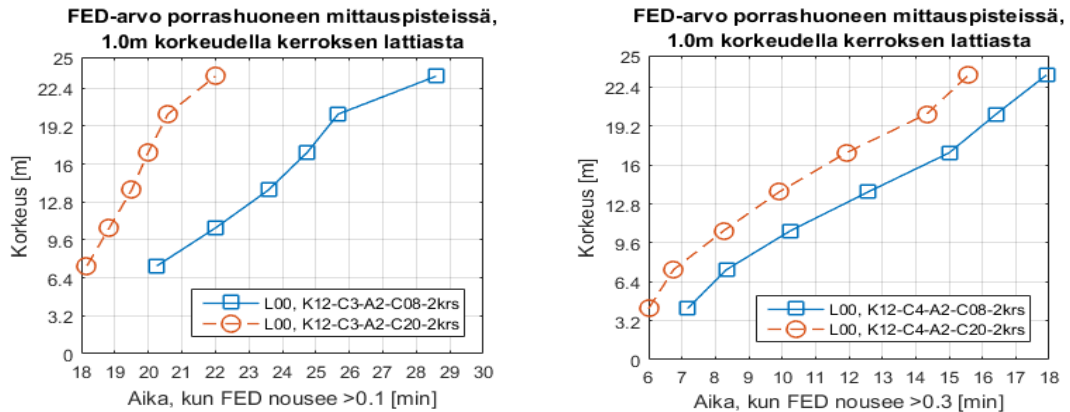
rostaso-ovi on auki porrashuoneeseen, nousee FED-arvo jopa kahdeksansannessa kerroksessa ensimmäisten 15 minuutin aikana noin 0,5:een kaikilla käytävän pituuksilla. Näin ollen onkin selvää, että arvioitaessa ihmisten poistumisturvallisuutta porrashuoneesta ja käytävistä, tulee huomioida FED-arvon riippuvuus oletetusta hiilimonoksidin tuotosta. Arvot ovat sitä turvallisemmalla puolella, mitä suurempi on hiilimonoksidin tuotto, ja näin ollen simuloinneista saadut tulokset FED-arvon osalta saattavat olla hieman liian optimistisia, kuten kuvista 89, 90 ja 91 nähdään. On kuitenkin muistettava, että FED-arvo on vain yksi parametri, jonka avulla voidaan tutkia savun aiheuttamaa uhkaa ihmisille ja siihen vaikuttavat oleellisesti myös monet muut tekijät kuin vain syntyvä hiilimonoksidi.



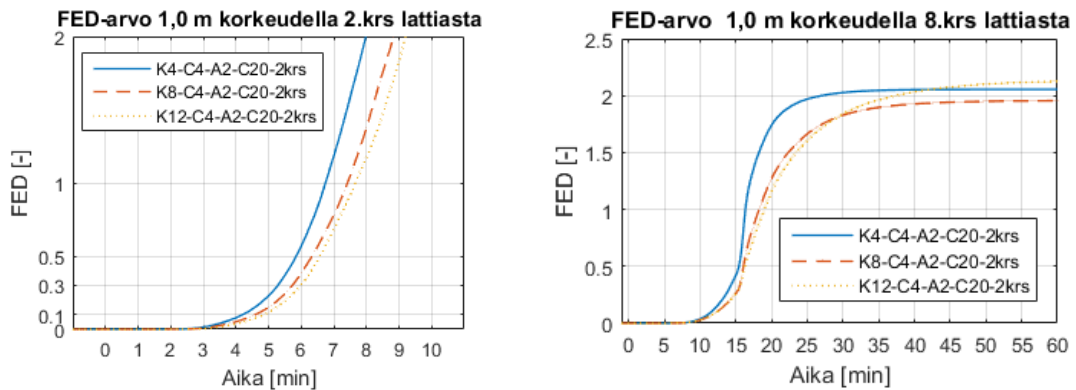
Kuva 89. Kuvaajissa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,1:n (vas.) ja yli 0,3:n (oik.) kuluva aika palon syttymisestä, neljän metrin pituisissa käytävissä. Kuvaajien arvot saatiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattianpinnasta olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).



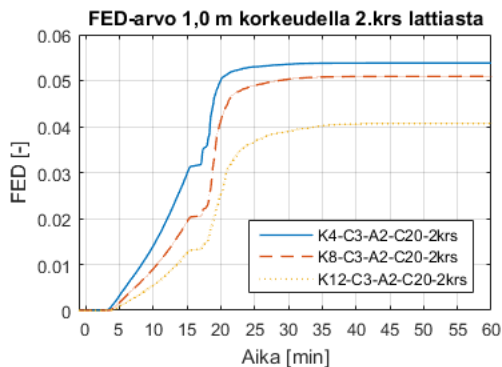
Kuva 90. Kuvaajissa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,1:n (vas.) ja yli 0,3:n (oik.) kuluva aika palon syttymisestä, kahdeksan metrin pituisissa käytävissä. Kuvaajien arvot saatiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattianpinnasta olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).



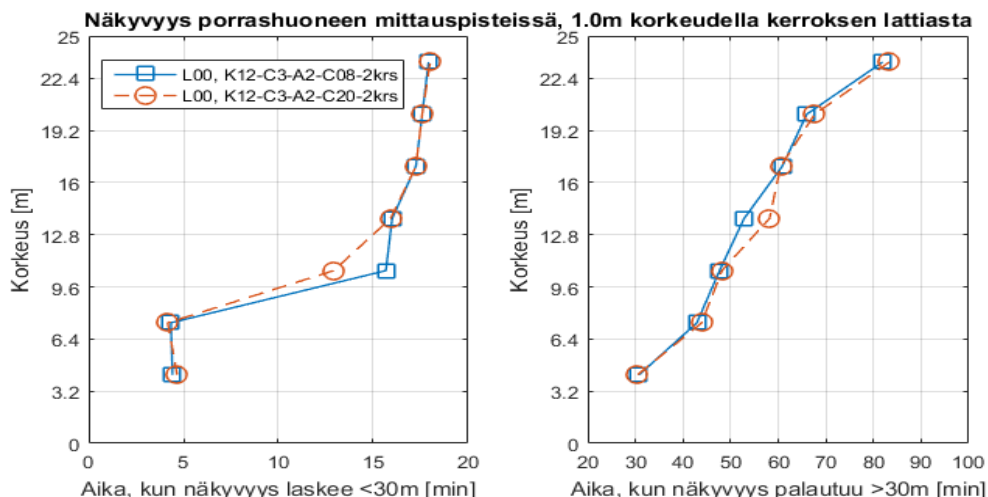
Kuva 91. Kuvaajissa on esitetty palon aiheuttaman FED-arvon kasvamiseen porrashuoneessa yli 0,1:n (vas.) ja yli 0,3:n (oik.) kuluva aika palon syttymisestä, 12 metrin pituisissa käytävissä. Kuvaajien arvot saatiin yhden metrin korkeudella kerrosten lattiapinnasta olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuutin kuluttua palon syttymisestä (vas.) ja palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan (oik.).



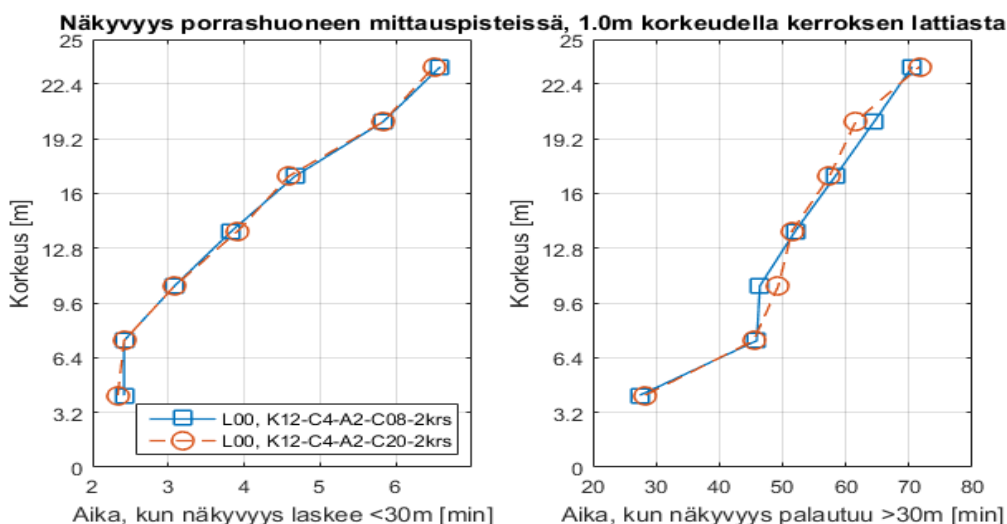
Kuva 92. Kuvaajissa on esitetty FED-arvon muutos porrashuoneen toisessa (vas.) ja kahdeksannessa (oik.) kerroksessa 0,2 g/g hiilimonoksidin tuotolla. Havaintopisteenä molemmissa kuvaajissa käytettiin yhden metrin korkeudella lattiapinnasta ollutta mittauspistettä. Molemmissa tilanteissa palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.



Kuva 93. Kuvaajissa on esitetty FED-arvon muutos porrashuoneen toisessa kerroksessa 0,2 g/g hiilimonoksidin tuotolla. Havaintopisteenä käytettiin yhden metrin korkeudella lattian pinnasta ollutta mittauspistettä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



Kuva 94. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle 30 metriin kuuluva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi avattiin 17 minuuttia palon syttymisen jälkeen.



Kuva 95. Kuvaajissa on esitetty savun aiheuttaman näkyvyyden laskemiseen alle 30 metriin kuuluva aika (vas.) ja aika kun näkyvyys palautui jälleen takaisin yli 30 metriin (oik.). Näkyvyyden muutokset määritettiin porrashuoneesta metrin korkeudella kerrosten lattiapinnoista olleista mittauspisteistä. Palavan asunnon kerrostaso-ovi pidettiin auki koko palon ajan.

6.10 Tulosten luotettavuus

Työssä simuloimalla saatuihin tuloksiin tulee suhtautua pienellä varauksella niihin liittyvän suuren muuttujamäärän takia. Simulointeihin valittu paloteho perustui todellisista polttokokeista sisustetulle huoneelle saatuihin arvoihin, joten sen voidaan olettaa vastaavan hyvin todellista paloa. Huomattavaa on kuitenkin, ettei valittu paloteho kykene kuvaamaan kaikkia mahdollisia huoneistopaloja, sillä palotehoon ja sen kehittymiseen vaikuttavat lukuisat tekijät kuten asunnon palokuorman tiheys, palon syttymispaikka ja pintojen materiaalit. Lisäksi tavanomainen palo käy usein läpi hitaan syttymisvaiheen ennen kuin paloteho alkaa selvästi kasvaa. Simuloinneissa käytetyssä palotehossa tätä ilmiötä ei kuitenkaan ole huomioitu, vaan paloteho alkaa välittömästi syttymisen jälkeen kasvaa t^2 -mallin mukaisesti kohti maksimipalotehoa. Tämän takia simulointitulokset

saattavat yliarvioida savun leviämisenopeuden ja olosuhteiden heikkenemisen verrattuna todelliseen tilanteeseen. Huomioitaessa nämä kaikki edellä mainitut tekijät ja simuloinneissa käytetty kohtalaisen pieni palavan asunnon koko, voidaan valitun palotehon olettaa vastaavan hyvin keskivertoa huoneistopaloa, mutta savun leviämisen taas kuvaavan keskivertoa vakavampaa tilannetta.

Työssä tehtiin erilliset herkkyystarkastelut sekä laskentaverkon resoluutiolle että hiilimonoksidin tuotolle. Laskentaverkon tihentämisen ei havaittu juuri muuttavan simuloinneista saatavia tuloksia muuten kuin kasvattamalla simulointeihin kuluva laskenta-aikaa merkittävästi. Näin ollen käytettyä laskentaverkon tiheyttä voidaan pitää malleihin hyvin soveltuvana sekä tarkkuuden että kohtuullisen laskenta-ajan takia. Toisaalta paloreaktioiden hiilimonoksidin tuottoarvon muuttaminen vaikutti selvästi mitattuun FED-arvoon. Työssä käytetty arvo 0,08 kg/kg aliarvioi FED-arvon kasvunopeuden verrattuna suurempaan 0,2 kg/kg tuottoarvoon. FED-arvoa tarkasteltaessa tulee kuitenkin huomioida myös itse arvon määräytymisen ja tulkinnan monimutkaisuus. Arvon avulla kyetään vain arvioimaan todennäköisyyksiä, milloin tietty osa ihmisistä oletettavasti menettää toimintakykynsä ja siksi FED-arvojen tueksi tarvitaankin usein myös tietoja muista parametreista kuten esim. näkyvyydestä. Työssä mitatut FED-arvot kuvaavat lisäksi tietyissä pisteissä koko simuloinnin aikana kumuloituneita arvoja ja eivät myöskään tästä syystä kuvaa kovinkaan hyvin pelastautuvan ihmisen altistumista. Tästäkin huolimatta mitattuja FED-arvoja voidaan käyttää hyvin työssä tutkittujen eri tilanteiden olosuhteiden muutosnopeuksien vertailuun.

Valituilla ympäristömuuttujien arvoilla simuloinneissa ei huomioitu korkeisiin ja yhtenäisiin tiloihin ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen takia syntyvän hormivaikutuksen savun leviämiseen ja poistumiseen aiheuttamia olennaisia vaikutuksia. Tästä syystä saatuja arvoja savun poistumiseen rakennuksesta kuluvia aikoja voidaan pitää ns. turvallisella puolella olevina, mutta savun leviämisen nopeuteen hormivaikutuksen puuttumisella on negatiivinen vaikutus. Ilman hormivaikutusta savu leviää kohti ylempiä kerroksia vain savun alhaisemmasta tiheydestä johtuvan nosteen voimalla ja kun savun lämpötila lämpöpölvöiden takia ympäröiviin rakenteisiin laskee, heikkenee myös nosteen voimakkuus. Tästä syystä savun leviämisenopeus tulee luultavasti aliarvioiduksi tilanteissa, joissa asunnon kerrostaso-ovi pidettiin kiinni ja savun määrä porrashuoneessa oli vähäisempää. Erot leviämisenopeuksissa kasvavat myös luultavasti käytävän pidentyessä ja noustaessa ylemmäs, sillä tällöin savu on levinnyt laajemmalle alueelle, jolloin myös lämpöpölvöt rakenteisiin ovat suuremmat. Vastaavan vaikutuksen merkitys tilanteessa, jossa asunnon kerrostaso-ovi on auki koko palon ajan, on luultavasti vähäisempi suuremman savun määrän ja sen korkeamman lämpötilan takia.

Näiden lisäksi työhön käytettyjä yksinkertaistuksia olivat myös mm. kiinteiden rakennesuotoalojen valinta, yksinkertaisen IV-järjestelmän käyttö ja yksinkertaistettu palavan huoneen geometria. Näistä kaikki saattoivat aiheuttaa mahdollisia virheitä tuloksiin ja siksi saadut arvot ovat varmuudella päteviä vain käytetylle geometrialle. Koska olosuhteet ja geometria pidettiin kaikissa simuloituissa tapauksissa samanlaisina, tuloksia voidaan siksi luotettavasti vertailla keskenään ja saatuja havaintoja pitää luotettavina.

7 Johtopäätökset

Työssä suoritettujen simulointien mukaan porrashuoneen yhteydessä olevien ns. sivukäytävien pituudella on suora vaikutus palon aikaisiin olosuhteisiin porrashuoneessa ja sammutuksen jälkeisen savutuuletuksen tarvitsemaan aikaan. Käytävän pidentäminen kasvattaa käytävän tilavuutta ja pinta-alaa, jolloin savun käytävän kattoon muodostaman savupatjakerroksen laskeutuminen lähemmäs lattiaa hidastuu ja samalla olosuhteet rakennuksesta mahdollisesti poistuvien ihmisten kannalta säilyvät parempina hie-
man pidempään. Toisaalta savun leviäminen laajemmalle alueelle kasvattaa palon jäl-
keisen savutuuletuksen tarvitsemaa kokonaisaikaa useilla minuuteilla. Savunpoiston te-
hostamiseen ratkaisuna työssä kokeiltiin palokunnan siirrettävää puhallinta, jonka ei
kuitenkaan havaittu nopeuttavan savun poistumista. Toimivaksi ratkaisuksi savun leviä-
misen rajaamiseen ja savun poistumisen nopeuttamiseksi havaittiin käytävien erottami-
nen porrashuoneesta savuovin.

Työssä havaittiin palavan asunnon kerrostaso-oven avautumishetkellä olevan tärkeä
rooli olosuhteiden kehittymiselle porrashuoneessa ja käytävissä. Mikäli esimerkiksi pa-
lavasta asunnosta poistuva henkilö jättää asuntonsa kerrostaso-oven auki, heikkenevät
olosuhteet sekä porrashuoneessa että siihen yhteydessä olevissa käytävissä erittäin no-
peasti verrattuna tilanteeseen, jossa palavan asunnon kerrostaso-ovi on kiinni. Tällai-
sissa tilanteissa käytävän pituudella ei havaittu olevan juurikaan vaikutusta näkyvyyden
heikkenemiseen, lämpötilan nousuun eikä FED-arvon kasvuun käytävissä ja porrashuo-
neessa. Työssä käytetyn rakennuksen geometrian ja parametrien tapauksessa olosuh-
teiden porrashuoneessa palokerroksen kohdalla havaittiin olevan todella vaaralliset
ylemmistä kerroksista poistuvien ihmisten kannalta jo muutaman minuutin kuluttua pa-
lon syttymisestä, kun palavan asunnon kerrostaso-ovi jäi auki. Vastaavasti mikäli palavan
asunnon kerrostaso-ovi pidetään kiinni, pysyvät olosuhteet porrashuoneessa poistuvien
ihmisten kannalta kohtalaisina koko 15 minuutin ajan palon syttymisestä, kunnes palo-
kunnan oletettiin saapuvan paikalle. Tällöin kuitenkin käytävän pituuden kasvattaminen
hidasti savun leviämistä ja olosuhteet säilyivät porrashuoneessa parempina pidempään.

Savun poistumiseen rakennuksesta kokonaan tarvitsemaa aikaa palon sammumisen jäl-
keen tutkittiin näkyvyyden palautumisen avulla. Vertailuarvona eri tilanteiden välillä
käytettiin 30 m näkyvyyden raja-arvoa eli savun määrän rakennuksessa oletettiin tällöin
olevan riittävän alhainen. Simuloinneista saatujen tulosten mukaan savun poistumiseen
kuluva aika kasvoi tasaisesti käytävän pidentämisen kanssa. Ajallisesti savun poistumi-
sen vaatima aika kasvoi myös siirryttäessä rakennuksessa ylemmäs palokerroksesta (2.
krs) siten, että ylimmässä (8. krs) hidastuminen oli suurinta.

Rakennuksen käytävät eivät ole aina suoria ja siksi työssä tutkittiin myös käytävään teh-
dyn mutkan vaikutuksia savun käyttäytymiseen. Mutkallisille käytäville saadut tulokset
mukailivat samanmittaisten suorien käytävien vastaavia arvoja, mutta sekä savun leviä-
misen että poistumisen vaatimat ajat olivat muutaman minuutin pidempiä. Eroja simu-
loitujen mutkattomien ja mutkallisten käytävien olosuhteiden kehittymisen välillä voi-
daan kuitenkin pitää tulosten mukaan varsin vähäisinä.

Tutkittaessa porrashuoneen painovoimaisen savunpoiston tehostamista porrashuo-
neen ulko-ovelle sijoitettujen palokunnan siirrettävien puhaltimien avulla havaittiin sa-
vun poistumisen rakennuksesta hidastuvan lähes kaikissa tapauksissa. Mitä pidempi
porrashuoneeseen yhteydessä ollut käytävä oli, sitä enemmän ajallisesti savun poistu-
minenkin hidastui. Puhaltimen porrashuoneeseen luoma ylipaine ikään kuin loi käytävän

ja porrashuoneen välille ns. paineseinän, joka esti savun pääsemisen käytävästä porrashuoneeseen ja katossa olevasta savunpoistoluukusta ulos. Erityisesti simuloituissa tilanteissa, joissa paloteho oli alhainen ja palavan asunnon ikkuna avattiin sammutuksen aikana, savun havaittiin poistuvan rakennuksesta todella hitaasti.

Ratkaisuna savun leviämisen estämiseen ja savun poistumisen tehostamiseen porrashuoneesta ja siihen liittyvistä sivukäytävistä työssä kokeiltiin käytävien erottamista porrashuoneesta automaattisesti sulkeutuvien savuovien avulla. Simuloinneissa kaikkien käytävien savuovien oletettiin sulkeutuvan, mikäli jokin ovien lähetyville sijoitetuista savuilmaisimista reagoisi. Tällöin yksittäisen savuilmaisimen toimintahäiriö ei pääse vaarantamaan ovien sulkeutumista. Tarkastelemalla simuloinneista saatuja tuloksia savun poistumiseen kuluvien aikojen osalta ko. ratkaisun huomattiin nopeuttavan savun poistumista kaikilla käytävän pituuksilla verrattuna tilanteisiin, joissa ovea ei ollut. Tämän lisäksi ratkaisu säilytti porrashuoneen olosuhteet hyvinä aina palavaan asuntoon yhteydessä olevan käytävän savuoven avaamiseen saakka, sekä esti tehokkaasti savun kulkeutumisen muihin asuntoihin paitsi palavan asunnon kanssa samassa käytävässä oleviin. Näissäkin tapauksissa erot olosuhteissa ovellisen ja ovetoman käytävän välillä palavaan asuntoon yhteydessä olevassa käytävässä eivät poikenneet toisistaan kovinkaan merkittävästi. Myös ovellisten sivukäytävien simuloinneissa havaittiin, että käytävän pidentämisen hidasti olosuhteiden heikkenemistä sivukäytävässä, vaikkakin poistumismatkan pitenemisen ja palokunnan etsimisalueen kasvun kustannuksella. Sivukäytävän kasvatamisen haitat rajoittuvat kuitenkin savuovellisten käytävien tapauksessa yhteen käytävään järjestelmän toimiessa. Tämän takia ehdotettua käytävien erottamista porrashuoneesta savuovin voidaankin pitää hyvänä vaihtoehtona, kun porrashuoneisiin yhteydessä olevia käytäviä halutaan pidentää, kuitenkin heikentämättä porrashuoneen savunpoiston toimintaa tai vaarantamatta talon asukkaiden turvallisuutta. Vaikka työn ulkopuolelle rajattiinkin mm. Turun (2014) ja Tampereen (2010) paloissa havaitut ongelmat, voidaan käytäviin sijoitettujen savuovien päätellä tarjoavan kohtuullisen ratkaisun myös noissa paloissa havaittuihin ongelmiin. Taulukkoon 7 on koottu savun poistumiseen koko rakennuksesta kuluvia aikoja erilaisissa tapauksissa. Työssä saadut merkittävät tulokset henkilöturvallisuuden kannalta ovat seuraavat:

- Sivukäytävän pituuden kasvattaminen hidastaa hieman savun leviämistä ja olosuhteiden heikkenemistä koko porrashuoneessa, kun palavan asunnon kerrostaso-ovi pysyy kiinni palon ajan
- Sivukäytävän pituuden kasvattamisella ei ole merkittävää hidastavaa vaikutusta savun leviämis- eikä olosuhteiden muutosnopeuteen porrashuoneessa, kun palavan asunnon kerrostaso-ovi on auki
- Sivukäytävässä olevalla ”mutkalla” ei ole vaikutusta savun leviämiseen verrattuna samanmittaiseen suoraan käytävään
- Sivukäytävän pituuden kasvattamisen voidaan olettaa kasvattavan hieman palokunnan etsintäaikaa porrashuoneessa
- Sivukäytävän pidentäminen kasvattaa ihmisten poistumismatkaa hieman, mutta sen ajallisen merkityksen voidaan olettaa olevan hyvin pieni
- Sivukäytävän erottaminen savuovin porrashuoneesta rajaa ja estää tehokkaasti savun leviämisen muualle porrashuoneeseen palavaan asuntoon yhteydessä olevasta sivukäytävästä.

Työssä käytetty mittausdata pohjautuu simulointiohjelmalla saatuihin tuloksiin ja siksi onkin tärkeää, että ohjelmalle annetut arvot ovat oikein ja sen toimintaperiaatteet tunnetaan. Huolimatta oikeanlaisesta käytöstä kyseessä on kuitenkin vain todellisuutta jäljittelevä simulointiohjelma, joka on jatkuvan kehityksen alla ja siksi sen antamiin arvoihin onkin syytä suhtautua aina pienellä varauksella. Kaikkiin työssä käytettyjen simulointimallien parametreihin liittyy myös aina tietty epävarmuus, niin niiden valinnassa ohjelmaan kuin jo määritettäessä niiden arvoja laboratoriossa ja koejärjestelyissä. Työssä on käytetty mahdollisimman hyvin ko. tilanteita kuvaavia parametrien arvoja, jotta saadut tulokset olisivat mahdollisimmat oikeellisia käytetyllä geometrialla. Täyttä varmuutta tulosten paikkansapitävyydestä on kuitenkin lähes mahdoton saada ilman simulointimalleja vastaavia koejärjestelyjä, jolloin saatuja tuloksia voitaisiin vertailla todellisiin arvoihin. Tästäkin huolimatta simulointi ja mallitus kykenevät kuvaamaan monimutkaisia palotapahtumia ja virtauksia huomattavasti paremmin kuin mihin ilman niitä pystyttäisiin. Ja siksi simulointeihin perustuvia tuloksia voidaankin pitää luotettavina, kunhan samalla ymmärretään myös paloon ja sen aiheuttamiin seurauksiin liittyvät fysikaaliset ja kemialliset ilmiöt ohjelman toiminnan takana.

Taulukko 7. Esitetty eräiden arvojen täyttymiseen kuluvat ajat eri simuloituissa tapauksissa. Taulukossa on esitetty: FED-arvon kohoamiseen 2.kerroksen palavan asunnon puoleisessa käytävässä yli 0,3:n kuluva aika yhden metrin korkeudella lattian pinnasta, savun leviämiseen neljänteen kerrokseen kuluva aika ja aika, kun näkyvyys on palautunut palon sammutuksen jälkeen kaikkialla porrashuoneessa ja jokaisessa sivukäytävässä takaisin yli 30 metriin. Huomioitavaa, että palokunnan on oletettu saapuvan ajanhetken kohdalla 15 min ja tällä on vaikutusta arvoihin jotka ylittyvät tämän jälkeen. Tämän takia muita kuin näkyvyyden palautumiselle (>30m) annettujen arvojen, jotka ylittävät 15 minuuttia ei voida pitää kovin oleellisina.

Käytävän pit.: [m]	Mutka: [K/E]	Portaat: [avo/umpi]	Tapaukset: (Paloteho Q=4000kW)	Aika kun ... : [min]		
				FED >0,3 2.krs käytävä	Näk <30m 4.krs käytävä	Näkyvyys >30m
4	E	umpi	Ovi kiinni	18.6	4.7	50.1
			Ovi kiinni + siirrettävä puhallin	Ei ylity	5.2	61.8
			Ovi kiinni + savuovet	15.7	17.3	38.0
			Ovi auki	5.8	2.4	44.6
			Ovi auki + siirrettävä puhallin	5.8	2.5	46.7
			Ovi auki + savuovet	4.6	17.0	37.5
8	E	umpi	Ovi kiinni	18.8	5.9	70.3
			Ovi kiinni + siirrettävä puhallin	24.2	5.9	120.4
			Ovi kiinni + savuovet	17.8	17.3	38.8
			Ovi auki	5.8	2.6	60.6
			Ovi auki + siirrettävä puhallin	5.7	2.6	70.0
			Ovi auki + savuovet	4.8	17.0	37.7
8	K	umpi	Ovi kiinni	19.0	6.2	75.9
			Ovi kiinni + siirrettävä puhallin	Ei ylity	6.0	154.9
			Ovi kiinni + savuovet	18.3	17.3	38.8
			Ovi auki	5.8	2.6	64.7
			Ovi auki + siirrettävä puhallin	6.0	2.6	76.4
			Ovi auki + savuovet	5.0	17.1	38.1
8	E	avo	Ovi kiinni	19.6	6.2	61.3
			Ovi kiinni + siirrettävä puhallin	Ei ylity	6.4	96.3
			Ovi kiinni + savuovet	17.8	17.3	37.4
			Ovi auki	5.6	2.4	52.4
			Ovi auki + siirrettävä puhallin	5.6	2.3	60.3
			Ovi auki + savuovet	4.8	17.1	38.1
12	E	umpi	Ovi kiinni	20.4	6.6	91.4
			Ovi kiinni + siirrettävä puhallin	24.1	6.6	230.3
			Ovi kiinni + savuovet	18.0	17.3	39.7
			Ovi auki	5.8	2.8	79.8
			Ovi auki + siirrettävä puhallin	5.9	2.7	98.1
			Ovi auki + savuovet	5.0	17.1	43.1

8 Lähdeluettelo

Alpert, R. L., 2008. Ceiling jet flows. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. toim. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Neljäs painos. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S. 2.21-2.36. ISBN 0-87765-821-8.

Babrauskas, V., 1992. Heat release rate: Single most important variable in fire hazard. *Fire Safety Journal*, Vol. 18:3. S. 255-272.

Babrauskas, V., 1995. The generation of CO in bench-scale fire tests and the prediction for real-scale fires. *Fire and Materials*, Vol. 19:5. S. 205-213.

Babrauskas, V., 2016a. Heat Release Rates. Teoksessa: M. J. Hurley, ym.. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York: Springer. S. 799-904. ISBN 978-1-4939-2565-0.

Babrauskas, V., 2016b. The Cone Calorimeter. Teoksessa: M. J. Hurley, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York: Springer. S. 952-980. ISBN 978-1-4939-2565-0.

Blomqvist, P., Rosell, L. & Simonson, M., 2004. Emissions from Fires Part II: Simulated Room Fires. *Fire Technology*, Vol. 40:1. S. 59-73.

Bwalya, A., Gibbs, E., Loughheed, G. & Kashef, A., 2015. Heat release rates of modern residential furnishings during combustion in a room calorimeter. *Fire and Materials*, Vol. 39:8. S. 684-716.

CEN/TR 12101-5, 2005. *Smoke and heat control systems. Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 97 s. [Viitattu 23.10.2015]. Saatavissa:

<https://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=149912>

.

Cooper, L. Y., 2002. Smoke and heat venting. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Neljäs painos. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S. 3.219-3.242. ISBN 087765-451-4.

D+H Mechatronic AG, 2013. D+H EURO-SHEV: Smoke ventilation according to DIN EN 12101-2. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.11.2015]. Saatavissa: http://www.dh-partner.com/fileadmin/contents/Downloads_English/Euro-RWA_Broschuere_EN_150.pdf.

Drysdale, D., 2011. *An Introduction to Fire Dynamics*. Kolmas painos. Chichester, West Sussex: Wiley. 551 s. ISBN 978-0-470-31903-1.

Emmons, H. W. & Tanaka, T., 2008. Vent flows. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. toim. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S. 2.37-2.53. ISBN 0-87765-821-8.

Gann, R. G. ym., 2003. *Smoke Component Yields from Room-scale Fire Tests*, Gaithersburg: Fire Research Division, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology.

He, Y. & Beck, V., 1997. Smoke Spread Experiment in a Multi-storey Building and Computer Modelling. *Fire Safety Journal*. Vol. 28:2. S. 139-164.

Hietaniemi, J., 2007. *Palon voimakkuuden kuvaaminen toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa*, Espoo: VTT.

Hokugo, A., Yung, D. & Hadjisophocleous, G. V., 1994. Experiments to Validate the NRCC Smoke Movement Model for Fire Risk-Cost Assessment. *Fire Safety Science* 4. S. 805-816. doi:10.3801/IAFSS.FSS.4-805.

Hui, M. C., 1999. An alternative concept of smoke management. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*. [Verkkolehti]. Vol 1:3. S.188-195. [Viitattu 28.10.2015]. Saatavissa: http://www.bse.polyu.edu.hk/researchCentre/Fire_Engineering/summary_of_output/journal/IJEPBFC/V1/p.188-195.pdf.

Hurley, M. J. ym., 2016. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Viides painos. New York: Springer. ISBN 978-1-4939-2565-0.

Jin, J. ym., 2012. A study of the effects of plug-holing and boundary layer separation on natural ventilation with vertical shaft in urban road tunnel fires. *International journal of Heat and Mass Transfer*. [Verkkolehti]. Vol 55:21-22. S. 6032-6041. [Viitattu 20.5.2016]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931012004346>.

Jin, T., 2008. Visibility and Human Behaviour in Fire Smoke. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Neljäs painos. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S. 2.54-2.66. ISBN 0-87765-821-8.

Kallada, R. J., 2016. Fire induced flow in building ventilation systems. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Aalto yliopisto, rakennustekniikan laitos. Espoo. [Viitattu 19.05.2015]. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/19972>.

Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 2000. *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-1300-7.

Kerrostalopalo Turussa 17.3.2014, 2014. *Tutkintaselostus, Y2014-02*. Helsinki: Onnettomuustutkintakeskus. 48 s. [Viitattu 25.4.2015]. Saatavissa: http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2014/PYg2SO1Wh/Y2014-02_Turku.pdf.

Klote, J. H., 1993. *NISTIR 5227: Air moving systems and fire protection*. [Verkkodokumentti]. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology 17 s. [Viitattu 28.10.2015]. Saatavissa: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire93/PDF/f93012.pdf>.

Klote, J. H., 2008. Smoke Control. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. toim. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Neljäs painos toim. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S. 4.367-4.386. ISBN 0-87765-821-8.

Klote, J. H., 2016. Smoke Control. Teoksessa: M. J. Hurley, ym. toim. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Viides painos toim. New York: Springer. S. 1785-1823. ISBN 978-1-4939-2565-0.

Klote, J. H. ym., 2012. *Handbook of Smoke Control Engineering*. Atlanta: ASHRAE. 484 s. ISBN 978-1-936504-24-4.

Kolmen ihmisen kuolemaan johtanut tulipalo kerrostalossa Tampereella 22.11.2010, 2010. *Tutkintaselostus, B2/2010Y*. Helsinki: Onnettomuustutkintakeskus. 67 s. [Viitattu 25.4.2015]. Saatavissa:

http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2010/b22010y_tutkintaselostus/b22010y_tutkintaselostus.pdf.

Kortelainen, P., 2012. Korkeiden rakennusten vaste tuulikuormituksessa.. [Verkkodokumentti]. *Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka. Tampere.* [Viitattu 1.10.2015]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21761/Kortelainen%20Petri.pdf?sequence=1>. 153 s..

Lay, S., 2000. Pressurization systems do not work & present a risk to life safety. *Case Studies in Fire Safety. [Verkkolehti]. Vol 1. S.13-17.* [Viitattu 25.04.2016]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214398X13000046>.

McGrattan, K. ym., 2015a. *Fire Dynamics Simulator (Version 6) Technical Reference Guide Volume 2: Verification*, Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. S. 176. (NISTIR 1018-2).

McGrattan, K. ym., 2015b. *Fire Dynamics Simulator (Version 6) User's guide*, Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. S. 284. (NISTIR 1019).

Milke, J. A., 2016. Smoke control by Mechanical Exhaust or Natural Venting. Teoksessa: M. J. Hurley, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Viides painos. New York: Springer. S. 1824-1862. ISBN 978-1-4939-2565-0.

Mulholland, G. W., 2008. Smoke Production and Properties. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Neljäs painos. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S. 2.291-2.302. ISBN 0-87765-821-8.

Peacock, R. D., Averill, J. D., Reneke, P. A. & Jones, W. W., 2004. Characteristics of Fire Scenarios in Which Sublethal Effects of Smoke are Important. *Fire Technology*. Vol. 40:2. S. 127-147.

Poreh, M. & Trebukov, S., 2000. Wind effects on smoke motion in buildings. *Fire Safety Journal. [Verkkolehti]. Vol 35:3. S.257-273.* [Viitattu 2.10.2015]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711200000175>. ISBN 0379-7112.

Purser, D. A., 2008. Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. toim. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Neljäs painos. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S. 2.96-2.193. ISBN 0-87765-821-8.

Purser, D. A. & McAllister, J. L., 2016. Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat. Teoksessa: M. J. Hurley, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Viides paino. New York: Springer. S. 2308-2428. ISBN 978-1-4939-2565-0.

Quintiere, J. G., 2006. *Fundamentals of fire phenomena*. Chichester: John Wiley. 412 s. ISBN 0-470-09113-4.

RIL 232, 2012. *Rakennusten savunpoisto: Suunnittelu, toteutus ja ylläpito*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 275 s. ISBN 978-951-758-543-9.

Robbins, A. P. & Wade, C. A., 2007. *Soot yield values for modelling purposes - residential occupancies, BRANZ Study Report 185*, Poirua, New Zealand: BRANZ Ltd.

- Seppälä, T., 2015. Korkeapainevesisumusuuttimen virtaustekninen laadunhallinta. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Lappeenranta. [Viitattu 8.10.2015]. Saatavissa: <https://www.doria.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/103791/210315.pdf?sequence=2>.
- SFS-EN 12101-10, 2006. *Savunhallintajärjestelmät. Osa 10: Tehonlähteet*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto 51 s. [Viitattu 16.11.2015]. Saatavissa: <http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=183996>.
- SFS-EN 12101-6, 2005. *Savunhallintajärjestelmät. Osa 6: Paineistus*. [Verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto 98 s. [Viitattu 23.10.2015]. Saatavissa: <http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet;jsessionid=4b757375784a40e869d384c3bae2d27e61cdbc5a519eba493db94cd083bee0d8.e3eRchaTbxmlRe3iNb3yKbNqLe0?action=quicksearch&info=12>.
- Staffansson, L., 2010. *Selecting design fires*, Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.
- Stec, A. & Hull, R., 2010. *Fire toxicity*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 688 s. ISBN 978-1-4398-2791-8.
- Stroup, D. & Lindeman, A., 2013. *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications*, Washington, DC: NUREG-1824, Supplement 1, United States Nuclear Regulatory Commission.
- Suhonen, S., 2006. *Palo- ja pelastussanasto (TSK33)*. Helsinki: Sanastokeskus TSK. ISBN 951-797-215-6.
- Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1, 2011. *Rakennusten paloturvallisuus Määräykset ja Ohjeet*. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Svensson, S., 2005. *Fire ventilation*. Karlstad, Sweden: Swedish Rescue Services Agency. ISBN 91-7253-279-3.
- Särdqvist, S., 1993. *Initial Fires: RHR, Smoke Production and CO Generation From Single Items and Room Fire Tests*, Lund, Sweden: Department of Fire Safety Engineering, Lund University, ISRN LUTVDG/TVBB-3070-SE.
- Ukleja, S., 2012. Production of smoke and carbon monoxide in underventilated enclosure fires. [Verkkodokumentti]. Thesis for the degree of Doctor of Philo. University of Ulster, Faculty of Art, Design and Built Environment. [Viitattu 16.03.2016]. Saatavissa: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/22022>.
- Walton, W. D. & Thomas, P. H., 2008. Estimating temperatures in compartment fires. Teoksessa: P. J. DiNenno, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, MA: National Fire Protection Association. S.3.204-3.221. ISBN 0-87765-821-8.
- Vinha, J. ym., 2009. *Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous*, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.
- Virtanen, E., 2015. Assessment of vibration control criteria for tall buildings. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Aalto yliopisto, rakennustekniikan laitos. Espoo. [Viitattu 1.10.2015]. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/16673>.

Yamada, T. & Akizuki, Y., 2016. Visibility and Human Behavior in Fire Smoke. Teoksessa: M. J. Hurley, ym. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Viides painos. New York: Springer. S. 1824-1862. ISBN 978-1-4939-2565-0.

Young, D. F., Munson, B. R., Okiishi, T. H. & Huebsch, W. W., 2011. *A Brief Introduction to Fluid Mechanics*. Viides painos. Hoboken, NY: Wiley. 474 s. ISBN 978-0470-59679-1.

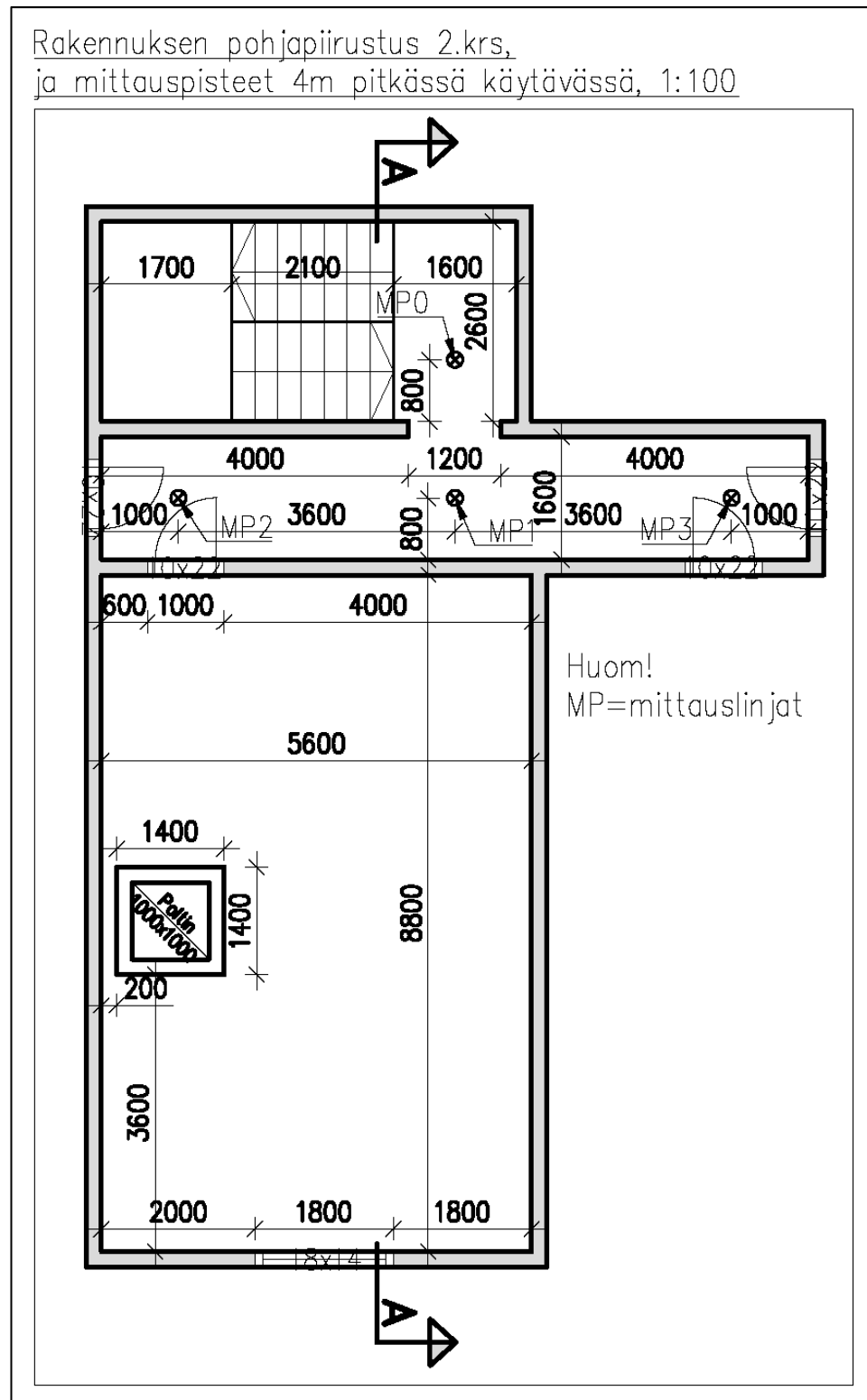
Young, E. A., 2007. *Standardising Design Fires For Residential and Apartment Buildings: Upholstered Furniture Fires*, Christchurch, New Zealand: Department of Civil Engineering, University of Canterbury.

Liiteluettelo

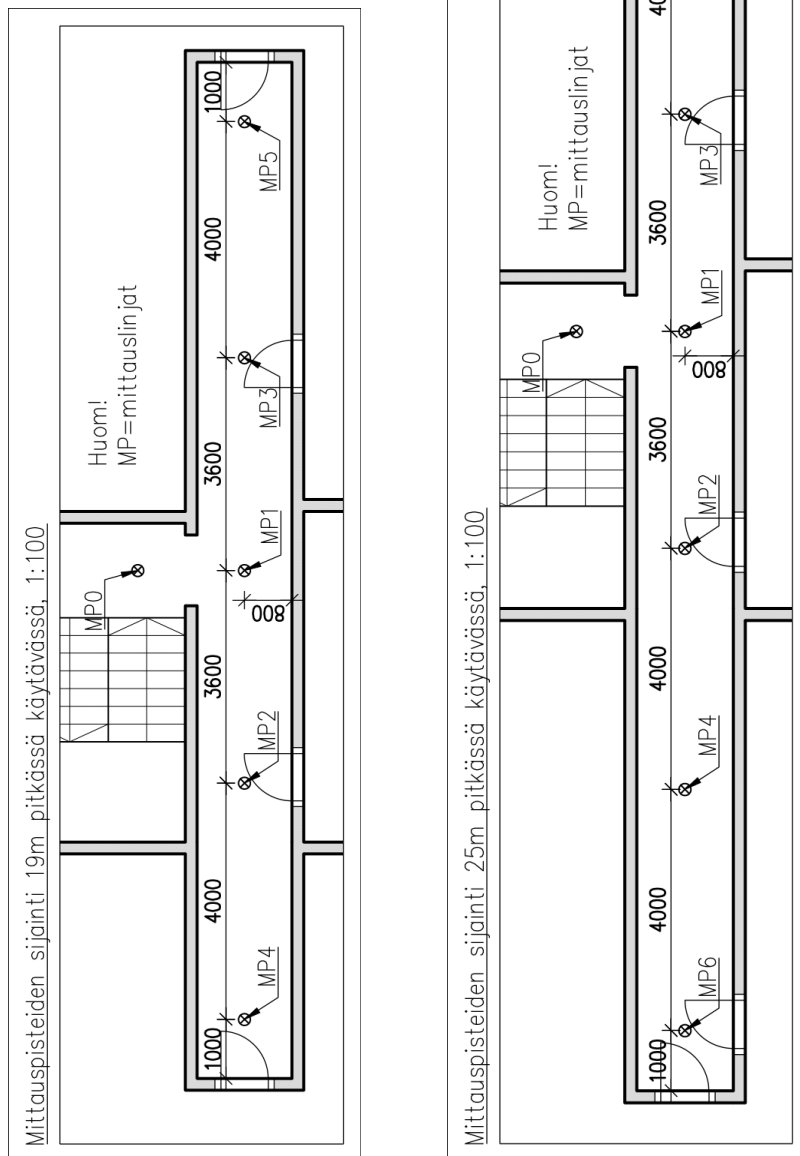
Liite 1. Esimerkkirakennuksen mittakuvat. 3 sivua.

Liite 2. Esimerkki simulointimallien syötetiedostoista. 16 sivua.

Liite 1. Esimerkkirakennuksen mittakuvat

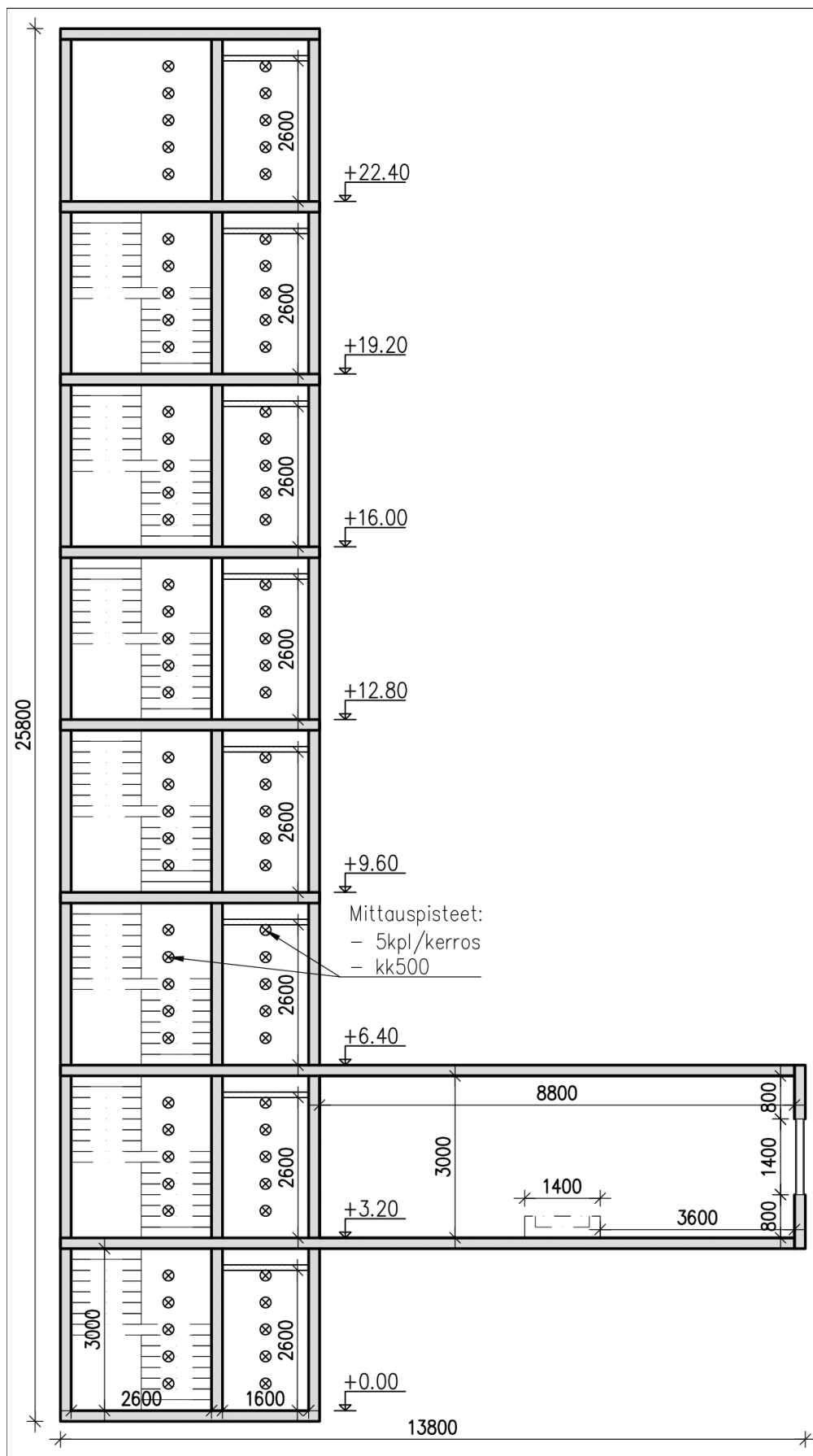


Kuva 1. Rakennuksen pohjapiirustus toisessa kerroksessa ja neljän metrin mittaisen käytävän mittauslinjojen sijainnit.



Kuva 2. Mittauslinjojen sijainti kahdeksan (vas.) ja kahdentoista (oik.) metrin pituisen käytävän tapauksessa

Rakennuksen leikkaus A-A, 1:100



Kuva 3. Esimerkkirakennuksen leikkaus (A-A).

Liite 2. Esimerkki simulointimallien syötetiedostoista

===== Neljän metrinmittainen käytävä, jossa kerrostaso-ovi pidetään kiinni palon ajan, enimmäispalotehona 4MW =====

```
&HEAD CHID='K4_C3_A2_Q4_C08_2krs'/
&TIME T_BEGIN=-60.0, T_END=7200.0/
&DUMP RENDER_FILE='K4_C3_A2_Q4_C08_2krs.ge1', DT_DEVC=5.0, DT_SLCF=3.0/
&MISC CHECK_VN=TRUE/
&PRES MAX_PRESSURE_ITERATIONS=2000, CHECK_POISSON=TRUE, VELOCITY_TOLERANCE=0.05, RELAXATION_FACTOR=0.5, PRESSURE_RELAX_TIME=2/
```

===== Laskentaverkot =====

```
&MESH ID='STAIRCASE', FYI='Porrashuone', IJK=27,14,135, XB=-2.8,2.6,-0.2,2.6,0.0,27.0, MPI_PROCESS=0/
&MESH ID='OUTERDOOR', FYI='Ulko_ovi', IJK=5,13,15, XB=2.6,3.6,0.0,2.6,0.0,3.0, MPI_PROCESS=0/
&MESH ID='FIREROOM', FYI='Palava asunto', IJK=28,50,15, XB=-2.8,2.8,-11.8,-1.8,3.2,6.2, MPI_PROCESS=1/
&MESH ID='OUTTER2', FYI='Ulko ikkuna', IJK=28,4,8, XB=-2.8,2.8,-11.8,-11.0,6.2,7.8, MPI_PROCESS=1/
&MESH ID='CORRIDOR', FYI='Käytävä', IJK=46,8,128, XB=-2.8,6.4,-1.8,-0.2,0.0,25.6, MPI_PROCESS=2/
&MESH ID='Ap01', FYI='Asunnot', IJK=6,4,15, XB=-2.2,-1.0,-2.6,-1.8,0.0,3.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='Ap02', FYI='Asunnot', IJK=6,4,125, XB=-4.6,5.8,-2.6,-1.8,0.0,25.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='Ap03', FYI='Asunnot', IJK=4,6,125, XB=-3.6,-2.8,-1.6,-0.4,0.0,25.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='Ap04', FYI='Asunnot', IJK=4,6,125, XB=6.4,7.2,-1.6,-0.4,0.0,25.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='Ap05', FYI='Asunnot', IJK=6,4,93, XB=-2.2,-1.0,-2.6,-1.8,6.4,25.0, MPI_PROCESS=3/
```

===== Painevyöhykkeet =====

```
&ZONE ID='1floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,0.0,3.0/
&ZONE ID='1floor2', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,0.0,2.4/
&ZONE ID='1floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,0.0,3.0/
&ZONE ID='1floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,0.0,3.0/
&ZONE ID='2floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,3.2,6.2/
&ZONE ID='2floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,3.2,6.2/
&ZONE ID='2floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,3.2,6.2/
&ZONE ID='3floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,6.4,9.4/
&ZONE ID='3floor2', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,6.4,9.4/
&ZONE ID='3floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,6.4,9.4/
&ZONE ID='3floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,6.4,9.4/
&ZONE ID='4floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,9.6,12.6/
&ZONE ID='4floor2', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,9.6,12.6/
&ZONE ID='4floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,9.6,12.6/
&ZONE ID='4floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,9.6,12.6/
&ZONE ID='5floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,12.8,15.8/
&ZONE ID='5floor2', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,12.8,15.8/
&ZONE ID='5floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,12.8,15.8/
&ZONE ID='5floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,12.8,15.8/
&ZONE ID='6floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,16.0,19.0/
&ZONE ID='6floor2', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,16.0,19.0/
&ZONE ID='6floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,16.0,19.0/
&ZONE ID='6floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,16.0,19.0/
&ZONE ID='7floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,19.2,22.2/
&ZONE ID='7floor2', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,19.2,22.2/
&ZONE ID='7floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,19.2,22.2/
&ZONE ID='7floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,19.2,22.2/
&ZONE ID='8floor1', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,22.4,25.0/
&ZONE ID='8floor2', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,22.4,25.0/
&ZONE ID='8floor3', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.0,22.4,25.0/
&ZONE ID='8floor4', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,22.4,25.0/
&ZONE ID='Fireroom', XB=-2.8,2.8,-11.0,-1.8,3.2,6.2/
&ZONE ID='Staircase', XB=-2.8,2.6,-1.8,2.6,0.0,25.4/
```

===== Palava polttoaine =====

```
&REAC ID='HEPTANE', FUEL='N-HEPTANE', CO_YIELD=0.08, SOOT_YIELD=0.07/
```

===== Mittauslaitteet =====

```
&DEVC ID='Fireroom pressure', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.0,-6.4,4.4/ Palavan asunnon lattiapinnasta 1,2 metrin korkeudella
&DEVC ID='Staircase pressure', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=1.85244,1.6,11.0/ Porrashuoneen korkeuden puolessa välin
&DEVC ID='Window temp', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.2,-10.7,4.6/ Ilman lämpötila ikkunan sisäpinnalla
&DEVC ID='Window temp surface', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.2,-10.8,4.6, IOR=2/ Ikkunan lasipinnan lämpötila
&DEVC ID='Fr supply', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup fr02'/
&DEVC ID='Fr exhaust', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Ext fr01'/
&DEVC ID='Fireroom window Vflow out', QUANTITY='VOLUME FLOW -', XB=-0.8,1.0,-11.0,-11.0,4.0,5.4/
&DEVC ID='Fireroom window Vflow in', QUANTITY='VOLUME FLOW +', XB=-0.8,1.0,-11.0,-11.0,4.0,5.4/
&DEVC ID='Fireroom door Vflow out', QUANTITY='VOLUME FLOW +', XB=-2.2,-1.2,-1.8,-1.8,3.2,5.4/
&DEVC ID='Fireroom door Vflow in', QUANTITY='VOLUME FLOW -', XB=-2.2,-1.2,-1.8,-1.8,3.2,5.4/
&DEVC ID='Exterior door Vflow in', QUANTITY='VOLUME FLOW -', XB=2.7,2.7,1.0,2.2,0.0,2.1/
&DEVC ID='Exterior door Vflow out', QUANTITY='VOLUME FLOW +', XB=2.7,2.7,1.0,2.2,0.0,2.1/
&DEVC ID='SP hatch Vflow out', QUANTITY='VOLUME FLOW +', XB=-0.4,0.6,0.8,1.8,25.5,25.5/
&DEVC ID='SP hatch Vflow in', QUANTITY='VOLUME FLOW -', XB=-0.4,0.6,0.8,1.8,25.5,25.5/
&DEVC ID='Leakage fr window low', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage fr low window'/
&DEVC ID='Leakage fr window high', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage fr high window'/
&DEVC ID='Leakage fr door low1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage fr low01'/
&DEVC ID='Leakage fr doow low2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage fr low02'/
&DEVC ID='Leakage fr door high1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage fr high01'/
&DEVC ID='Leakage fr door high2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage fr high02'/
&DEVC ID='Leakage staircase01', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage staircase'/
&DEVC ID='Leakage staircase02', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage staircase01'/
&DEVC ID='Leakage staircase03', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage staircase02'/
&DEVC ID='Leakage staircase04', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage staircase03'/
&DEVC ID='Leakage staircase05', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage staircase04'/
&DEVC ID='Leakage staircase06', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage staircase05'/
&DEVC ID='Leakage staircase07', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Leakage staircase06'/
&DEVC ID='Staircase exhaust', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Ext staircase01'/
&DEVC ID='Staircase supply01', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase01'/
&DEVC ID='Staircase supply02', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase02'/
&DEVC ID='Staircase supply03', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase03'/
&DEVC ID='Staircase supply04', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase04'/
&DEVC ID='Staircase supply05', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase05'/
&DEVC ID='Staircase supply06', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase06'/
&DEVC ID='Staircase supply07', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase07'/
&DEVC ID='Staircase supply08', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase08'/
&DEVC ID='Staircase supply09', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase09'/
&DEVC ID='Staircase supply10', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Sup staircase10'/
&DEVC ID='Vis_stairs_05', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,0.5/
&DEVC ID='Vis_stairs_10', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,1.0/
&DEVC ID='Vis_stairs_15', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,1.5/
&DEVC ID='Vis_stairs_20', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,2.0/
&DEVC ID='Vis_stairs_25', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,2.5/
&DEVC ID='Vis_stairs_37', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,3.7/
&DEVC ID='Vis_stairs_42', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,4.2/
&DEVC ID='Vis_stairs_47', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,4.7/
&DEVC ID='Vis_stairs_52', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,5.2/
&DEVC ID='Vis_stairs_57', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.8,0.8,5.7/
```


[illegible]

[illegible]

[illegible]

```
&DEVC ID='FED_corr_21.7_03', QUANTITY='FED', XYZ=5.4,-1.0,21.7/
&DEVC ID='FED_corr_22.9_03', QUANTITY='FED', XYZ=5.4,-1.0,22.9/
&DEVC ID='FED_corr_23.4_03', QUANTITY='FED', XYZ=5.4,-1.0,23.4/
&DEVC ID='FED_corr_23.9_03', QUANTITY='FED', XYZ=5.4,-1.0,23.9/
&DEVC ID='FED_corr_24.4_03', QUANTITY='FED', XYZ=5.4,-1.0,24.4/
&DEVC ID='FED_corr_24.9_03', QUANTITY='FED', XYZ=5.4,-1.0,24.9/
&DEVC ID='Fireroom 75Pa switch', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=1.8,-2.4,5.8/
&DEVC ID='Staircase press switch 75Pa', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=-2.4,1.2,0.6/
```

===== Ajustetut tapahtumat =====

```
&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=-2.8,-0.2,0.0, SETPOINT=900.0/
&DEVC ID='TIMER2', QUANTITY='TIME', XYZ=-2.8,-0.2,0.0, SETPOINT=1015.0/
&DEVC ID='TIMER3', QUANTITY='TIME', XYZ=-2.8,-0.2,0.0, SETPOINT=200.0/
&DEVC ID='TIMER4', QUANTITY='TIME', XYZ=-2.8,-0.2,0.0, SETPOINT=0.0/
&CTRL ID='Fr pressure', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=75.0,75.1, ON_BOUND='LOWER', LATCH=FALSE., INPUT_ID='Fireroom 75Pa switch'/
&CTRL ID='Str pressure', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=75.0,75.1, ON_BOUND='LOWER', LATCH=FALSE., INPUT_ID='Staircase press switch 75Pa'/
```

===== Käytetyt materiaalit =====

```
&MATL ID='CONCRETE', FYI='Betoni', SPECIFIC_HEAT=0.88, CONDUCTIVITY=1.1, DENSITY=2100.0/
&MATL ID='GYPSUM', SPECIFIC_HEAT=1.09, CONDUCTIVITY=0.17, DENSITY=930.0/
&MATL ID='PINE', SPECIFIC_HEAT=2.85, CONDUCTIVITY=0.14, DENSITY=640.0, HEAT_OF_COMBUSTION=1.9E4/
&MATL ID='GLAZING', FYI='Ikkuna lasitus', SPECIFIC_HEAT=0.84, CONDUCTIVITY=0.76, DENSITY=2700.0, EMISSIVITY=0.95/
```

===== Käytetyt pinnat =====

```
&SURF ID='CONCRETE_200mm', FYI='Betoni 200mm', RGB=204.0,204.0,204.0, TRANSPARENCY=0.698039, DEFAULT=TRUE., TMP_INNER=20.0, TMP_BACK=20.0, BACKING='VOID', MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='CONCRETE_VP_200mm', FYI='Betoni VP 200mm', RGB=255.0,0.0,204.0, TRANSPARENCY=0.698039, TMP_INNER=20.0, TMP_BACK=20.0, BACKING='VOID', MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='CONCRETE_STAIRS 200mm', FYI='Betoniportaat 200mm', RGB=0.0,255.0,0.0, TRANSPARENCY=0.698039, TMP_INNER=20.0, MATL_ID(1,1)='CONCRETE', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='CONCRETE_FACADE_200mm', FYI='Betonijulkisivu 200mm', RGB=228.0,186.0,201.0, TRANSPARENCY=0.698039, TMP_INNER=20.0, TMP_BACK=20.0, BACKING='VOID', MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='DOOR_OUTSIDE', RGB=252.0,84.0,252.0, TMP_INNER=20.0/
&SURF ID='SP hatch', RGB=239.0,255.0,0.0, TMP_INNER=20.0/
&SURF ID='CONCRETE_YP_200mm', FYI='Betoni YP 200mm', RGB=133.0,27.0,204.0, TRANSPARENCY=0.698039, TMP_INNER=20.0, TMP_BACK=10.0, BACKING='VOID', MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='Gypsumboard_12mm', RGB=146.0,0.0,207.0, TRANSPARENCY=0.698039, TMP_INNER=20.0, MATL_ID(1,1)='GYPSUM', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.012/
&SURF ID='DOOR_FIREROOM', RGB=233.0,17.0,103.0, TMP_INNER=20.0, MATL_ID(1,1)='PINE', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.07/
&SURF ID='GLASS', RGB=146.0,202.0,166.0, EMISSIVITY=0.95, TMP_INNER=20.0, MATL_ID(1,1)='GLAZING', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.02/
```

===== Palon mallitus =====

```
&SURF ID='BURNER', COLOR='RED', HRRPUA=4000.0, RAMP_Q='BURNER_RAMP_Q', TMP_FRONT=450.0/
```

```
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=20.0, F=0.0044444/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=40.0, F=0.017778/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=60.0, F=0.04/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=80.0, F=0.071111/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=100.0, F=0.11111/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=120.0, F=0.16/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=140.0, F=0.21778/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=160.0, F=0.28444/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=180.0, F=0.36/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=200.0, F=0.44444/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=220.0, F=0.53778/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=240.0, F=0.64/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=260.0, F=0.75111/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=280.0, F=0.87111/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=300.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=605.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=620.0, F=0.97531/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=640.0, F=0.94334/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=660.0, F=0.91241/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=680.0, F=0.8825/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=700.0, F=0.85357/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=720.0, F=0.82558/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=740.0, F=0.79852/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=760.0, F=0.77234/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=780.0, F=0.74702/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=800.0, F=0.72253/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=820.0, F=0.69884/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=840.0, F=0.67593/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=860.0, F=0.65377/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=880.0, F=0.63234/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=900.0, F=0.61161/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=920.0, F=0.59156/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=940.0, F=0.57216/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=960.0, F=0.5534/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=980.0, F=0.53526/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1000.0, F=0.51771/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1020.0, F=0.50493/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1040.0, F=0.42911/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1060.0, F=0.35329/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1080.0, F=0.27747/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1100.0, F=0.20164/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1120.0, F=0.12582/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1140.0, F=0.040997/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1160.0, F=0.039653/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1200.0, F=0.037096/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1220.0, F=0.03588/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1260.0, F=0.033566/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1300.0, F=0.031401/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1360.0, F=0.028413/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1400.0, F=0.02658/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1460.0, F=0.024051/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1500.0, F=0.0225/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1560.0, F=0.020359/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1600.0, F=0.019046/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1700.0, F=0.016122/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1800.0, F=0.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=7200.0, F=0.0/
```

===== Rakennuksen seinät ja portaat yms. =====

```
&OBST XB=-2.8,2.6,-0.2,0.0,0.0,25.4, SURF_ID='CONCRETE_200mm'/ Staricase wall05
&OBST XB=0.7,1.0,1.3,2.6,0.0,0.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
&OBST XB=0.4,0.7,1.3,2.6,0.0,2.0,4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
&OBST XB=0.1,0.4,1.3,2.6,0.4,0.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
&OBST XB=-0.2,0.1,1.3,2.6,0.6,0.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
&OBST XB=-0.5,-0.2,1.3,2.6,0.8,1.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
&OBST XB=-0.8,-0.5,1.3,2.6,1.0,1.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
```

&OBST XB=-1.1,-0.8,1.3,2.6,1.2,1.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=-2.8,-1.1,8.21565E-16,2.6,1.4,1.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing11
 &OBST XB=-1.1,-0.8,6.66134E-16,1.3,1.6,1.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=-0.8,-0.5,6.66134E-16,1.3,1.8,2.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=-0.5,-0.2,6.66134E-16,1.3,2.0,2.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=-0.2,0.1,6.66134E-16,1.3,2.2,2.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=-0.1,0.4,4.44089E-16,1.3,2.4,2.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=-0.4,0.7,4.44089E-16,1.3,2.6,2.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=-0.7,1.0,4.44089E-16,1.3,2.8,3.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs01
 &OBST XB=1.0,2.6,8.21565E-16,2.6,3.0,3.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing20
 &OBST XB=-0.7,1.0,1.3,2.6,3.2,3.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.4,0.7,1.3,2.6,3.4,3.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.1,0.4,1.3,2.6,3.6,3.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.2,0.1,1.3,2.6,3.8,4.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.5,-0.2,1.3,2.6,4.0,4.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.8,-0.5,1.3,2.6,4.2,4.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-1.1,-0.8,1.3,2.6,4.4,4.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-2.8,-1.1,8.21565E-16,2.6,4.6,4.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing21
 &OBST XB=-1.1,-0.8,6.66134E-16,1.3,4.8,5.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.8,-0.5,6.66134E-16,1.3,5.0,5.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.5,-0.2,6.66134E-16,1.3,5.2,5.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.2,0.1,6.66134E-16,1.3,5.4,5.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.1,0.4,4.44089E-16,1.3,5.6,5.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.4,0.7,4.44089E-16,1.3,5.8,6.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=-0.7,1.0,4.44089E-16,1.3,6.0,6.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs02
 &OBST XB=1.0,2.6,8.21565E-16,2.6,6.2,6.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing30
 &OBST XB=-0.7,1.0,1.3,2.6,6.4,6.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.4,0.7,1.3,2.6,6.6,6.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.1,0.4,1.3,2.6,6.8,7.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.2,0.1,1.3,2.6,7.0,7.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.5,-0.2,1.3,2.6,7.2,7.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.8,-0.5,1.3,2.6,7.4,7.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-1.1,-0.8,1.3,2.6,7.6,7.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-2.8,-1.1,8.21565E-16,2.6,7.8,8.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing31
 &OBST XB=-1.1,-0.8,6.66134E-16,1.3,8.0,8.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.8,-0.5,6.66134E-16,1.3,8.2,8.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.5,-0.2,6.66134E-16,1.3,8.4,8.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.2,0.1,6.66134E-16,1.3,8.6,8.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.1,0.4,4.44089E-16,1.3,8.8,9.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.4,0.7,4.44089E-16,1.3,9.0,9.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=-0.7,1.0,4.44089E-16,1.3,9.2,9.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs03
 &OBST XB=1.0,2.6,8.21565E-16,2.6,9.4,9.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing40
 &OBST XB=-0.7,1.0,1.3,2.6,9.6,9.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.4,0.7,1.3,2.6,9.8,10.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.1,0.4,1.3,2.6,10.0,10.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.2,0.1,1.3,2.6,10.2,10.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.5,-0.2,1.3,2.6,10.4,10.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.8,-0.5,1.3,2.6,10.6,10.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-1.1,-0.8,1.3,2.6,10.8,11.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-2.8,-1.1,8.21565E-16,2.6,11.0,11.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing41
 &OBST XB=-1.1,-0.8,6.66134E-16,1.3,11.2,11.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.8,-0.5,6.66134E-16,1.3,11.4,11.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.5,-0.2,6.66134E-16,1.3,11.6,11.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.2,0.1,6.66134E-16,1.3,11.8,12.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.1,0.4,4.44089E-16,1.3,12.0,12.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.4,0.7,4.44089E-16,1.3,12.2,12.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=-0.7,1.0,4.44089E-16,1.3,12.4,12.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs04
 &OBST XB=1.0,2.6,8.21565E-16,2.6,12.6,12.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing50
 &OBST XB=-0.7,1.0,1.3,2.6,12.8,13.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.4,0.7,1.3,2.6,13.0,13.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.1,0.4,1.3,2.6,13.2,13.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.2,0.1,1.3,2.6,13.4,13.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.5,-0.2,1.3,2.6,13.6,13.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.8,-0.5,1.3,2.6,13.8,14.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-1.1,-0.8,1.3,2.6,14.0,14.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-2.8,-1.1,8.21565E-16,2.6,14.2,14.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing51
 &OBST XB=-1.1,-0.8,6.66134E-16,1.3,14.4,14.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.8,-0.5,6.66134E-16,1.3,14.6,14.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.5,-0.2,6.66134E-16,1.3,14.8,15.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.2,0.1,6.66134E-16,1.3,15.0,15.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.1,0.4,4.44089E-16,1.3,15.2,15.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.4,0.7,4.44089E-16,1.3,15.4,15.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=-0.7,1.0,4.44089E-16,1.3,15.6,15.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs05
 &OBST XB=1.0,2.6,8.21565E-16,2.6,15.8,16.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing60
 &OBST XB=-0.7,1.0,1.3,2.6,16.0,16.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.4,0.7,1.3,2.6,16.2,16.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.1,0.4,1.3,2.6,16.4,16.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.2,0.1,1.3,2.6,16.6,16.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.5,-0.2,1.3,2.6,16.8,17.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.8,-0.5,1.3,2.6,17.0,17.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-1.1,-0.8,1.3,2.6,17.2,17.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-2.8,-1.1,8.21565E-16,2.6,17.4,17.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing61
 &OBST XB=-1.1,-0.8,6.66134E-16,1.3,17.6,17.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.8,-0.5,6.66134E-16,1.3,17.8,18.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.5,-0.2,6.66134E-16,1.3,18.0,18.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.2,0.1,6.66134E-16,1.3,18.2,18.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.1,0.4,4.44089E-16,1.3,18.4,18.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.4,0.7,4.44089E-16,1.3,18.6,18.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=-0.7,1.0,4.44089E-16,1.3,18.8,19.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs06
 &OBST XB=1.0,2.6,8.21565E-16,2.6,19.0,19.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing70
 &OBST XB=-0.7,1.0,1.3,2.6,19.2,19.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.4,0.7,1.3,2.6,19.4,19.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.1,0.4,1.3,2.6,19.6,19.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.2,0.1,1.3,2.6,19.8,20.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.5,-0.2,1.3,2.6,20.0,20.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.8,-0.5,1.3,2.6,20.2,20.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-1.1,-0.8,1.3,2.6,20.4,20.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-2.8,-1.1,8.21565E-16,2.6,20.6,20.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing71
 &OBST XB=-1.1,-0.8,6.66134E-16,1.3,20.8,21.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.8,-0.5,6.66134E-16,1.3,21.0,21.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.5,-0.2,6.66134E-16,1.3,21.2,21.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.2,0.1,6.66134E-16,1.3,21.4,21.6, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.1,0.4,4.44089E-16,1.3,21.6,21.8, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.4,0.7,4.44089E-16,1.3,21.8,22.0, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=-0.7,1.0,4.44089E-16,1.3,22.0,22.2, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Stairs07
 &OBST XB=1.0,2.6,8.21565E-16,2.6,22.2,22.4, SURF_ID='CONCRETE_STAIRS 200mm'/ Landing80
 &OBST XB=-2.6,2.8,0.0,2.6,0.0,3.0, SURF_ID6='CONCRETE_200mm','CONCRETE_FACADE_200mm', 'CONCRETE_FACADE_200mm','CONCRETE_FACADE_200mm','CONCRETE_FACADE_200mm', 'CONCRETE_FA-
 CADE_200mm'/ Obstruction
 &OBST XB=2.6,2.8,1.0,2.2,0.0,2.1, SURF_ID='DOOR_OUTSIDE'/ Extdoor
 &OBST XB=-0.4,0.6,0.8,1.8,25.399,25.601, SURF_ID='SP hatch'/ SP hatch
 &OBST XB=-2.8,2.6,-0.2,2.6,25.4,25.6, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Roof
 &OBST XB=-2.8,6.4,-1.8,-0.2,2.6,3.0, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling
 &OBST XB=-2.8,6.4,-1.8,-0.2,3.0,3.2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Floor
 &OBST XB=-2.8,6.4,-1.8,-0.2,5.8,6.2, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling
 &OBST XB=-2.8,6.4,-1.8,-0.2,6.2,6.4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Floor
 &OBST XB=-2.8,6.4,-1.8,-0.2,9.0,9.4, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling

```

&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,9,4,9,6, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Floor
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,12,2,12,6, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,12,6,12,8, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Floor
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,15,4,15,8, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,15,8,16,0, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Floor
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,18,6,19,0, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,19,0,19,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Floor
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,21,8,22,2, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,22,2,22,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Floor
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,25,0,25,4, SURF_ID='Gypsumboard_12mm'/ Ceiling
&OBST XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,25,4,25,6, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ Corridor roof
&OBST XB=-2,2,-1,2,-2.001,-1.799,3,2,5,4, SURF_ID='DOOR_FIREROOM'/ Fireroom door
&OBST XB=-0,8,1,0,-11.001,-10.799,4,0,5,4, SURF_ID='GLASS'/ Fireroom window
&OBST XB=-2,8,2,8,-2,0,-1,8,3,2,6,2, SURF_ID='CONCRETE_200mm'/ Fireroom wall03
&OBST XB=-2,8,2,8,-11,0,-10,8,3,2,6,2, SURF_ID6='CONCRETE_200mm','CONCRETE_200mm',
'CONCRETE_FACADE_200mm','CONCRETE_200mm','CONCRETE_200mm','CONCRETE_200mm'/ Fireroom wall04
&OBST XB=-2,4,-1,4,-7,0,-6,0,3,2,3,4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-2,4,-1,4,-7,2,-7,0,3,2,3,6, SURF_ID='INERT', DEVC_ID='TIMER4'/ Obstruction
&OBST XB=-2,6,-1,2,-6,0,-5,8,3,2,3,6, SURF_ID='INERT', DEVC_ID='TIMER4'/ Obstruction
&OBST XB=-2,6,-2,4,-7,2,-6,0,3,2,3,6, SURF_ID='INERT', DEVC_ID='TIMER4'/ Obstruction
&OBST XB=-1,4,-1,2,-7,2,-6,0,3,2,3,6, SURF_ID='INERT', DEVC_ID='TIMER4'/ Obstruction
&OBST XB=-2,2,-1,0,-2,0,-1,8,0,0,3,0, SURF_ID='CONCRETE_200mm'/ Ap11 wall
&OBST XB=4,6,5,8,-2,0,-1,8,0,0,25,0, SURF_ID='CONCRETE_200mm'/ Ap12 wall
&OBST XB=-3,0,-2,8,-1,6,-0,4,0,0,25,0, SURF_ID='CONCRETE_200mm'/ Ap13 wall
&OBST XB=-2,2,-1,0,-2,0,-1,8,6,4,25,0, SURF_ID='CONCRETE_200mm'/ Ap14 wall
&OBST XB=6,4,6,6,-1,6,-0,4,0,0,25,0, SURF_ID='CONCRETE_200mm'/ Ap15 wall
&OBST XB=4,6,5,8,-2,6,-2,0,3,0,3,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP01
&OBST XB=4,6,5,8,-2,6,-2,0,6,2,6,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP02
&OBST XB=4,6,5,8,-2,6,-2,0,9,4,9,6, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP03
&OBST XB=4,6,5,8,-2,6,-2,0,12,6,12,8, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP04
&OBST XB=4,6,5,8,-2,6,-2,0,15,8,16,0, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP05
&OBST XB=4,6,5,8,-2,6,-2,0,19,0,19,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP06
&OBST XB=4,6,5,8,-2,6,-2,0,22,2,22,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP07
&OBST XB=-3,6,-3,0,-1,6,-0,4,3,0,3,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP01
&OBST XB=-3,6,-3,0,-1,6,-0,4,6,2,6,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP02
&OBST XB=-3,6,-3,0,-1,6,-0,4,9,4,9,6, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP03
&OBST XB=-3,6,-3,0,-1,6,-0,4,12,6,12,8, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP04
&OBST XB=-3,6,-3,0,-1,6,-0,4,15,8,16,0, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP05
&OBST XB=-3,6,-3,0,-1,6,-0,4,19,0,19,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP06
&OBST XB=-3,6,-3,0,-1,6,-0,4,22,2,22,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP07
&OBST XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,0,9,4,9,6, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP03
&OBST XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,0,12,6,12,8, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP04
&OBST XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,0,15,8,16,0, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP05
&OBST XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,0,19,0,19,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP06
&OBST XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,0,22,2,22,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP07
&OBST XB=6,6,7,2,-1,6,-0,4,3,0,3,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP01
&OBST XB=6,6,7,2,-1,6,-0,4,6,2,6,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP02
&OBST XB=6,6,7,2,-1,6,-0,4,9,4,9,6, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP03
&OBST XB=6,6,7,2,-1,6,-0,4,12,6,12,8, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP04
&OBST XB=6,6,7,2,-1,6,-0,4,15,8,16,0, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP05
&OBST XB=6,6,7,2,-1,6,-0,4,19,0,19,2, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP06
&OBST XB=6,6,7,2,-1,6,-0,4,22,2,22,4, SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm'/ VP07
&OBST XB=1,6,2,0,-2,2,-2,2,5,6,6,0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-2,6,-2,6,1,0,1,6,0,4,1,0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,4,2,4,2,2,4,0,0,2,1, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,4,2,4,0,8,1,0,0,0,2,1, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-0,4,0,0,-2,2,-2,2,5,6,6,0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,39591,2,4,0,6,1,6,3,2,3,4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,39591,2,4,0,6,1,6,6,4,6,6, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,39591,2,4,0,6,1,6,9,6,9,8, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,39591,2,4,0,6,1,6,12,8,13,0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,39591,2,4,0,6,1,6,16,0,16,2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,39591,2,4,0,6,1,6,19,2,19,4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=2,39591,2,4,0,6,1,6,22,4,22,6, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0,0,0,6,0,2,0,2,24,6,25,2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

```

```

&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,-0,02,2,61/ Doorhole
&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,3,19,5,81/ Doorhole
&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,6,39,9,01/ Doorhole
&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,9,59,12,21/ Doorhole
&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,12,79,15,41/ Doorhole
&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,15,99,18,61/ Doorhole
&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,19,19,21,81/ Doorhole
&HOLE XB=1,2,2,4,-0,22,0,01,22,39,25,01/ Doorhole
&HOLE XB=2,58,2,81,0,99,2,21,-0,02,2,11, DEVC_ID='TIMER'/ Extdoor
&HOLE XB=-0,4,0,6,0,8,1,8,25,39,25,61, DEVC_ID='TIMER'/ SP hatch hole
&HOLE XB=-2,21,-1,19,-2,01,-1,78,3,18,5,41, DEVC_ID='TIMER2'/ Fireroom door hole
&HOLE XB=-0,81,1,01,-11,01,-10,78,3,99,5,41, DEVC_ID='TIMER3'/ Fireroom window hole

```

```

===== Mallin laskentaverkon ulkorajojen reunaehdotja

```

```

=====

```

```

&VENT SURF_ID='CONCRETE_200mm', XB=2,6,2,6,0,0,2,6,22,6,25,6/ Staircase wall01
&VENT SURF_ID='CONCRETE_200mm', XB=-2,8,2,6,2,6,2,6,0,0,25,6, OUTLINE=TRUE/ Staircase wall02
&VENT SURF_ID='CONCRETE_200mm', XB=-2,8,-2,8,1,4,2,6,1,6,25,6/ Staircase wall03
&VENT SURF_ID='CONCRETE_200mm', XB=-2,8,-2,8,8,2,1565E-16,1,2,1,6,25,6/ Staircase wall04
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=-2,8,2,6,-4,44089E-17,2,6,0,0,0,0/ Floor_staircase
&VENT SURF_ID='INERT', XB=-2,8,3,6,0,0,2,6,0,0,0,0/ Vent21
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,3,6,0,0,0,0,0,0,3,0/ Vent22
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,3,6,0,0,2,6,3,0,3,0/ Vent23
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,3,6,2,6,2,6,0,0,3,0/ Vent24
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-3,6,3,6,0,0,2,6,0,0,3,0/ Vent25
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,6,2,6,-0,2,2,6,25,6,27,0/ Out11
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,2,6,-0,2,-0,2,25,6,27,0/ Out12
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,-2,8,-0,2,2,6,25,6,27,0/ Out13
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,2,6,2,6,2,6,25,6,27,0/ Out14
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,2,6,-0,2,2,6,27,0,27,0/ Out15
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,2,8,-11,8,-11,8,3,2,7,8/ Out9
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,-2,8,-11,8,-11,0,3,2,7,8/ Out5
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,2,8,-11,8,-11,0,7,8,7,8/ Out6
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,2,8,-11,8,-11,0,3,2,7,8/ Out7
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2,8,2,8,-11,8,-11,0,3,2,3,2/ Out8
&VENT SURF_ID='CONCRETE_FACADE_200mm', XB=-2,8,2,8,-11,0,-11,0,6,2,7,8/ Wall out
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=-2,8,6,4,-1,8,-0,2,0,0,0,0/ Corridor floor01
&VENT SURF_ID='CONCRETE_200mm', XB=2,8,2,8,-11,0,-2,0,3,2,6,2/ Fireroom wall01
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=-2,8,2,8,-11,0,-2,0,3,2,3,2/ Fireroom floor
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=-2,8,2,8,-11,0,-2,0,6,2,6,2/ Fireroom ceiling
&VENT SURF_ID='CONCRETE_200mm', XB=-2,8,-2,8,-11,0,-2,0,3,2,6,2/ Fireroom wall02

```

```

===== Poltin =====

```

```

&VENT SURF_ID='BURNER', XB=-2,4,-1,4,-7,0,-6,0,3,4,3,4, DEVC_ID='TIMER4'/ Vent

```

```

===== Vuotojen ja ilmanvaihtokanaviston päate-elinten koko ja sijainti =====

```

```

&VENT ID='Sup fr', SURF_ID='HVAC', XB=1,6,2,0,-2,01,-2,01,5,6,6,0/

```

```

&VENT ID="Ext fr", SURF_ID="HVAC", XB=-0.4,0.0,-2.01,-2.01,5.6,6.0/
&VENT ID="Ext staircase01", SURF_ID="HVAC", XB=0.0,0.6,0.01,0.01,24.6,25.2/
&VENT ID="Sup staircase01", SURF_ID="HVAC", XB=2.81,2.81,0.8,1.0,0.0,2.1/
&VENT ID="Sup staircase02", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.8,1.0,0.0,2.1/
&VENT ID="Sup staircase03", SURF_ID="HVAC", XB=2.81,2.81,2.2,2.4,0.0,2.1/
&VENT ID="Sup staircase04", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,2.2,2.4,0.0,2.1/
&VENT ID="Sup staircase05", SURF_ID="HVAC", XB=-2.79,-2.79,1.0,1.6,0.4,1.0/
&VENT ID="Sup staircase08", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.6,1.6,3.2,3.4/
&VENT ID="Sup staircase07", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.6,1.6,6.4,6.6/
&VENT ID="Sup staircase09", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.6,1.6,9.6,9.8/
&VENT ID="Sup staircase10", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.6,1.6,12.8,13.0/
&VENT ID="Sup staircase11", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.6,1.6,16.0,16.2/
&VENT ID="Sup staircase12", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.6,1.6,19.2,19.4/
&VENT ID="Sup staircase13", SURF_ID="HVAC", XB=2.59,2.59,0.6,1.6,22.4,22.6/
&VENT ID="Ap sup01", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-2.2,-2.6,-2.2,2.0,2.4/
&VENT ID="Ap ext01", SURF_ID="HVAC", XB=-1.4,-1.0,-2.6,-2.6,2.0,2.4/
&VENT ID="Ap sup02", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,0.2,4/
&VENT ID="Ap ext02", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,2.0,2.4/
&VENT ID="Ap sup03", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,2.0,2.4/
&VENT ID="Ap ext03", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,2.0,2.4/
&VENT ID="Ap sup04", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,2.0,2.4/
&VENT ID="Ap ext04", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,2.0,2.4/
&VENT ID="Ap sup06", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,5.2,5.6/
&VENT ID="Ap ext06", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,5.2,5.6/
&VENT ID="Ap sup07", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,5.2,5.6/
&VENT ID="Ap ext07", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,5.2,5.6/
&VENT ID="Ap sup08", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,5.2,5.6/
&VENT ID="Ap ext08", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,5.2,5.6/
&VENT ID="Ap sup09", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap ext09", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap sup10", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap ext10", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap sup11", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap ext11", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap sup05", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-2.2,-2.6,-2.2,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap ext05", SURF_ID="HVAC", XB=-1.4,-1.0,-2.6,-2.6,8.4,8.8/
&VENT ID="Ap sup12", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap ext12", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap sup13", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap ext13", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap sup14", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap ext14", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap sup15", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-2.2,-2.6,-2.2,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap ext15", SURF_ID="HVAC", XB=-1.4,-1.0,-2.6,-2.6,11.6,12.0/
&VENT ID="Ap sup16", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap ext16", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap sup17", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap ext17", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap sup18", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap ext18", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap sup19", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-2.2,-2.6,-2.2,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap ext19", SURF_ID="HVAC", XB=-1.4,-1.0,-2.6,-2.6,14.8,15.2/
&VENT ID="Ap sup20", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap ext20", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap sup21", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap ext21", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap sup22", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap ext22", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap sup23", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-2.2,-2.6,-2.2,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap ext23", SURF_ID="HVAC", XB=-1.4,-1.0,-2.6,-2.6,18.0,18.4/
&VENT ID="Ap sup24", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap ext24", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap sup25", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap ext25", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap sup26", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap ext26", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap sup27", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-2.2,-2.6,-2.2,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap ext27", SURF_ID="HVAC", XB=-1.4,-1.0,-2.6,-2.6,21.2,21.6/
&VENT ID="Ap sup28", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,4.6,-2.6,-2.2,24.4,24.8/
&VENT ID="Ap ext28", SURF_ID="HVAC", XB=5.4,5.8,-2.6,-2.6,24.4,24.8/
&VENT ID="Ap sup29", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.2,-0.4,-0.4,24.4,24.8/
&VENT ID="Ap ext29", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-1.2,24.4,24.8/
&VENT ID="Ap sup30", SURF_ID="HVAC", XB=6.8,7.2,-0.4,-0.4,24.4,24.8/
&VENT ID="Ap ext30", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-1.2,24.4,24.8/
&VENT ID="Ap sup31", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-2.2,-2.6,-2.2,24.4,24.8/
&VENT ID="Ap ext31", SURF_ID="HVAC", XB=-1.4,-1.0,-2.6,-2.6,24.4,24.8/
&VENT ID="Leakage fr low01", SURF_ID="HVAC", XB=-1.2,-0.8,-2.01,-2.01,3.2,3.6/
&VENT ID="Leakage fr low02", SURF_ID="HVAC", XB=-1.2,-0.8,-1.79,-1.79,3.2,3.6/
&VENT ID="Leakage fr low03", SURF_ID="HVAC", XB=-2.6,-2.2,-2.01,-2.01,3.2,3.6/
&VENT ID="Leakage fr low04", SURF_ID="HVAC", XB=-2.6,-2.2,-1.79,-1.79,3.2,3.6/
&VENT ID="Leakage fr high01", SURF_ID="HVAC", XB=-2.6,-2.2,-2.01,-2.01,4.0,4.4/
&VENT ID="Leakage fr high02", SURF_ID="HVAC", XB=-2.6,-2.2,-1.79,-1.79,4.0,4.4/
&VENT ID="Leakage fr high03", SURF_ID="HVAC", XB=-1.2,-0.8,-1.79,-1.79,4.0,4.4/
&VENT ID="Leakage fr high04", SURF_ID="HVAC", XB=-1.2,-0.8,-2.01,-2.01,4.0,4.4/
&VENT ID="Leakage fr low window01", SURF_ID="HVAC", XB=-0.8,1.0,-10.79,-10.79,3.8,4.0/
&VENT ID="Leakage fr low window02", SURF_ID="HVAC", XB=-0.8,1.0,-11.01,-11.01,3.8,4.0/
&VENT ID="Leakage fr high window01", SURF_ID="HVAC", XB=-0.8,1.0,-10.79,-10.79,5.4,5.6/
&VENT ID="Leakage fr high window02", SURF_ID="HVAC", XB=-0.8,1.0,-11.01,-11.01,5.4,5.6/
&VENT ID="Leakage staircase01", SURF_ID="HVAC", XB=-2.8,-2.8,1.2,1.4,1.6,4.6/
&VENT ID="Leakage staircase02", SURF_ID="HVAC", XB=-2.8,-2.8,1.2,1.4,4.8,7.8/
&VENT ID="Leakage staircase03", SURF_ID="HVAC", XB=-2.8,-2.8,1.2,1.4,8.0,11.0/
&VENT ID="Leakage staircase04", SURF_ID="HVAC", XB=-2.8,-2.8,1.2,1.4,11.2,14.2/
&VENT ID="Leakage staircase05", SURF_ID="HVAC", XB=-2.8,-2.8,1.2,1.4,14.4,17.4/
&VENT ID="Leakage staircase06", SURF_ID="HVAC", XB=-2.8,-2.8,1.2,1.4,17.6,20.6/
&VENT ID="Leakage staircase07", SURF_ID="HVAC", XB=-2.8,-2.8,1.2,1.4,20.8,25.4/
&VENT ID="Ap leakage out01", SURF_ID="HVAC", XB=2.2,-1.0,-2.6,-2.6,1.0,1.2/
&VENT ID="Ap leakage low01", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-1.0,-1.79,-1.79,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage low02", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-1.0,-2.01,-2.01,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage high01", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-1.0,-1.79,-1.79,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage high02", SURF_ID="HVAC", XB=-2.2,-1.0,-2.01,-2.01,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage out02", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,5.8,-2.6,-2.6,1.0,1.2/
&VENT ID="Ap leakage low03", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,5.8,-1.79,-1.79,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage low04", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,5.8,-2.01,-2.01,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage high03", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,5.8,-1.79,-1.79,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage high04", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,5.8,-2.01,-2.01,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage out03", SURF_ID="HVAC", XB=-3.6,-3.6,-1.6,-0.4,1.0,1.2/
&VENT ID="Ap leakage low05", SURF_ID="HVAC", XB=-2.79,-2.79,-1.6,-0.4,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage low06", SURF_ID="HVAC", XB=-3.01,-3.01,-1.6,-0.4,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage high05", SURF_ID="HVAC", XB=-2.79,-2.79,-1.6,-0.4,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage high06", SURF_ID="HVAC", XB=-3.01,-3.01,-1.6,-0.4,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage out04", SURF_ID="HVAC", XB=7.2,7.2,-1.6,-0.4,1.0,1.2/
&VENT ID="Ap leakage low07", SURF_ID="HVAC", XB=6.39,6.39,-1.6,-0.4,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage low08", SURF_ID="HVAC", XB=6.61,6.61,-1.6,-0.4,0.0,0.2/
&VENT ID="Ap leakage high07", SURF_ID="HVAC", XB=6.39,6.39,-1.6,-0.4,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage high08", SURF_ID="HVAC", XB=6.61,6.61,-1.6,-0.4,0.8,1.0/
&VENT ID="Ap leakage out06", SURF_ID="HVAC", XB=4.6,5.8,-2.6,-2.6,4.2,4.4/

```

&EVENT ID=Ap leakage low11', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,2,3,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage low12', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,2,3,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage high11', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,4,0,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage high12', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,4,0,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage out07', SURF_ID=HVAC, XB=-3,6,-3,6,-1,6,-0,4,2,4,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage low13', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,-0,4,2,3,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage low14', SURF_ID=HVAC, XB=-3,0,-3,01,-1,6,-0,4,2,3,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage high13', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,-0,4,0,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage high14', SURF_ID=HVAC, XB=-3,01,-3,01,-1,6,-0,4,0,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage out08', SURF_ID=HVAC, XB=7,7,2,2,-1,6,-0,4,2,4,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage low15', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,2,3,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage low16', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,2,3,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage high15', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,0,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage high16', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,0,4,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage out09', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,6,7,4,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low09', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,7,-1,6,7,4,6,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low10', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,7,-1,6,6,4,6,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high09', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-1,79,-1,79,2,7,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage high10', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,01,-2,01,7,2,7,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage out09', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,-1,6,7,4,6,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low17', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,7,4,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low18', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,01,-2,01,6,4,6,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high17', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,7,2,7,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage high18', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,01,-2,01,7,2,7,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage out10', SURF_ID=HVAC, XB=-3,6,-3,6,-1,6,-0,4,7,4,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low19', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,0,4,6,4,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low20', SURF_ID=HVAC, XB=-3,01,-3,01,-1,6,-0,4,6,4,6,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high19', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,0,4,7,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage high20', SURF_ID=HVAC, XB=-3,01,-3,01,-1,6,-0,4,7,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage out11', SURF_ID=HVAC, XB=7,7,2,2,-1,6,-0,4,7,4,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low21', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,6,4,6,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage low22', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,6,4,6,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high21', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,7,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage high22', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,7,2,4 /
 &EVENT ID=Ap leakage out12', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,6,10,6,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low23', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-1,79,-1,79,9,6,9,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low24', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,01,-2,01,9,6,9,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high23', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-1,79,-1,79,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high24', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,01,-2,01,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage out13', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,6,-2,10,9,6,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low25', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,10,9,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low26', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,01,-2,01,9,6,9,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high25', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high26', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,01,-2,01,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage out14', SURF_ID=HVAC, XB=-3,6,-3,6,-1,6,-0,4,10,6,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low27', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,0,4,9,6,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low28', SURF_ID=HVAC, XB=-3,01,-3,01,-1,6,-0,4,9,6,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high27', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,0,4,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high28', SURF_ID=HVAC, XB=-3,01,-3,01,-1,6,-0,4,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage out15', SURF_ID=HVAC, XB=7,7,2,2,-1,6,-0,4,10,6,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low29', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,9,6,9,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage low30', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,9,6,9,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high29', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage high30', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,10,4,10,6 /
 &EVENT ID=Ap leakage out16', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,6,13,8,14,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low31', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-1,79,-1,79,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low32', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,01,-2,01,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage high31', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-1,79,-1,79,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high32', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,01,-2,01,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage out17', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,6,-2,13,8,14,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low33', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low34', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,01,-2,01,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage high33', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-1,79,-1,79,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high34', SURF_ID=HVAC, XB=4,6,5,8,-2,01,-2,01,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage out18', SURF_ID=HVAC, XB=-3,6,-3,6,-1,6,-0,4,13,8,14,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low35', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,0,4,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low36', SURF_ID=HVAC, XB=-3,01,-3,01,-1,6,0,4,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage high35', SURF_ID=HVAC, XB=-2,7,9,-2,7,9,-1,6,0,4,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high36', SURF_ID=HVAC, XB=-3,01,-3,01,-1,6,0,4,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage out19', SURF_ID=HVAC, XB=7,7,2,2,-1,6,-0,4,13,8,14,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low37', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage low38', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,12,8,13,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage high37', SURF_ID=HVAC, XB=-6,39,6,39,-1,6,-0,4,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage high38', SURF_ID=HVAC, XB=-6,61,6,61,-1,6,-0,4,13,6,13,8 /
 &EVENT ID=Ap leakage out20', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,6,-2,6,17,0,17,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage low39', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-1,79,-1,79,16,16,16,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage low40', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,01,-2,01,16,16,16,2 /
 &EVENT ID=Ap leakage high39', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-1,79,-1,79,16,8,17,0 /
 &EVENT ID=Ap leakage high40', SURF_ID=HVAC, XB=-2,2,-1,0,-2,01,-

```

&VENT ID='Ap leakage low56', SURF_ID='HVAC', XB=-2.2,-1.0,-2.01,-2.01,22.4,22.6/
&VENT ID='Ap leakage high55', SURF_ID='HVAC', XB=-2.2,-1.0,-1.79,-1.79,23.2,23.4/
&VENT ID='Ap leakage high56', SURF_ID='HVAC', XB=-2.2,-1.0,-2.01,-2.01,23.2,23.4/
&VENT ID='Ap leakage out29', SURF_ID='HVAC', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.6,23.4,23.6/
&VENT ID='Ap leakage low57', SURF_ID='HVAC', XB=4.6,5.8,-1.79,-1.79,22.4,22.6/
&VENT ID='Ap leakage low58', SURF_ID='HVAC', XB=4.6,5.8,-2.01,-2.01,22.4,22.6/
&VENT ID='Ap leakage high57', SURF_ID='HVAC', XB=4.6,5.8,-1.79,-1.79,23.2,23.4/
&VENT ID='Ap leakage high58', SURF_ID='HVAC', XB=4.6,5.8,-2.01,-2.01,23.2,23.4/
&VENT ID='Ap leakage out30', SURF_ID='HVAC', XB=-3.6,-3.6,-1.6,-0.4,23.4,23.6/
&VENT ID='Ap leakage low59', SURF_ID='HVAC', XB=-2.79,-2.79,-1.6,-0.4,22.4,22.6/
&VENT ID='Ap leakage low60', SURF_ID='HVAC', XB=-3.01,-3.01,-1.6,-0.4,22.4,22.6/
&VENT ID='Ap leakage high59', SURF_ID='HVAC', XB=-2.79,-2.79,-1.6,-0.4,23.2,23.4/
&VENT ID='Ap leakage high60', SURF_ID='HVAC', XB=-3.01,-3.01,-1.6,-0.4,23.2,23.4/
&VENT ID='Ap leakage out31', SURF_ID='HVAC', XB=7.2,7.2,-1.6,-0.4,23.4,23.6/
&VENT ID='Ap leakage low61', SURF_ID='HVAC', XB=6.39,6.39,-1.6,-0.4,22.4,22.6/
&VENT ID='Ap leakage low62', SURF_ID='HVAC', XB=6.61,6.61,-1.6,-0.4,22.4,22.6/
&VENT ID='Ap leakage high61', SURF_ID='HVAC', XB=6.39,6.39,-1.6,-0.4,23.2,23.4/
&VENT ID='Ap leakage high62', SURF_ID='HVAC', XB=6.61,6.61,-1.6,-0.4,23.2,23.4/
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=-3.6,-3.01,-1.6,-0.4,0.0,0.0/ VP001
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.01,0.0,0.0/ VP002
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=4.6,5.8,-2.6,-2.01,0.0,0.0/ VP003
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=6.61,7.2,-1.6,-0.4,0.0,0.0/ VP004
&VENT SURF_ID='CONCRETE_VP_200mm', XB=-2.2,-1.0,-2.6,-2.0,3.0,3.0/ VP01

```

===== Ilmanvaihtokanaviston putket =====

```

&HVAC ID='Sup fr03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup fr02', VENT_ID='Sup fr'/
&HVAC ID='Sup fr02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup fr01', 'Sup fr02', XYZ=1.8,-1.81,6.0/
&HVAC ID='Sup fr01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup fr01', AMBIENT=TRUE, XYZ=1.8,-1.61,6.0/
&HVAC ID='Sup fr01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.1, AIRCOIL_ID='Sup heat', NODE_ID='Sup fr01','Sup fr02', LENGTH=1.0E-4, CTRL_ID='Fr pressure'/
&HVAC ID='Sup fr02', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.1, FAN_ID='Apartment sup constant', LOSS=20.0,20.0, NODE_ID='Sup fr02','Sup fr03', LENGTH=1.0E-4, CTRL_ID='Fr pressure'/
&HVAC ID='Ext fr01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ext fr01', VENT_ID='Ext fr'/
&HVAC ID='Ext fr02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ext fr01', AMBIENT=TRUE, XYZ=-0.2,-1.81,6.0/
&HVAC ID='Ext fr01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.1, FAN_ID='Apartment ext', LOSS=3.0,3.0, NODE_ID='Ext fr01','Ext fr02', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Ext staircase01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ext staircase01', VENT_ID='Ext staircase01'/
&HVAC ID='Ext staircase02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ext staircase01', AMBIENT=TRUE, XYZ=0.2,-0.19,24.8/
&HVAC ID='Ext staircase01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, FAN_ID='Staircase ext', LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Ext staircase01','Ext staircase02', LENGTH=1.0E-6/
&HVAC ID='Sup staircase01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase01', VENT_ID='Sup staircase01'/
&HVAC ID='Sup staircase02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase01', VENT_ID='Sup staircase02'/
&HVAC ID='Sup staircase01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.131532, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase01','Sup staircase02', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase02', VENT_ID='Sup staircase03'/
&HVAC ID='Sup staircase04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase02', VENT_ID='Sup staircase04'/
&HVAC ID='Sup staircase02', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.131532, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase03','Sup staircase04', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase05', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase03', VENT_ID='Sup staircase05'/
&HVAC ID='Sup staircase06', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase03','Sup staircase3a', XYZ=-3.01,1.3,0.7/
&HVAC ID='Sup staircase6a', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase3a', AMBIENT=TRUE, XYZ=-3.21,1.3,0.7/
&HVAC ID='Sup staircase03', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.22782, FAN_ID='Stair sup', LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase06','Sup staircase05', LENGTH=1.0E-4, CTRL_ID='Str pressure'/
&HVAC ID='Sup staircase3a', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.22782, AIRCOIL_ID='Sup heat2', NODE_ID='Sup staircase6a','Sup staircase06', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase07', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase04', AMBIENT=TRUE, XYZ=2.9,1.1,3.3/
&HVAC ID='Sup staircase08', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase04', VENT_ID='Sup staircase08'/
&HVAC ID='Sup staircase04', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.111165, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase07','Sup staircase08', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase05', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.111165, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase10','Sup staircase09', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase09', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase05', VENT_ID='Sup staircase07'/
&HVAC ID='Sup staircase10', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase05', AMBIENT=TRUE, XYZ=2.9,1.1,6.5/
&HVAC ID='Sup staircase06', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.111165, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase12','Sup staircase11', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase11', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase06', VENT_ID='Sup staircase09'/
&HVAC ID='Sup staircase12', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase06', AMBIENT=TRUE, XYZ=2.9,1.1,9.7/
&HVAC ID='Sup staircase07', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.111165, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase14','Sup staircase13', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase13', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase07', VENT_ID='Sup staircase10'/
&HVAC ID='Sup staircase14', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase07', AMBIENT=TRUE, XYZ=2.9,1.1,12.9/
&HVAC ID='Sup staircase08', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.111165, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase16','Sup staircase15', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase15', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase08', VENT_ID='Sup staircase11'/
&HVAC ID='Sup staircase16', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase08', AMBIENT=TRUE, XYZ=2.9,1.1,16.1/
&HVAC ID='Sup staircase09', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.111165, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase18','Sup staircase17', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase17', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase09', VENT_ID='Sup staircase12'/
&HVAC ID='Sup staircase18', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase09', AMBIENT=TRUE, XYZ=2.9,1.1,19.3/
&HVAC ID='Sup staircase10', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.111165, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Sup staircase20','Sup staircase19', LENGTH=1.0E-4/
&HVAC ID='Sup staircase19', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase10', VENT_ID='Sup staircase13'/
&HVAC ID='Sup staircase20', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Sup staircase10', AMBIENT=TRUE, XYZ=2.9,1.1,22.5/
&HVAC ID='Ap sup01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup01', AMBIENT=TRUE, XYZ=-2.6,-2.4,2.2/
&HVAC ID='Ap sup02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup01','Ap sup02', XYZ=-2.4,-2.4,2.2/
&HVAC ID='Ap sup03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup02', VENT_ID='Ap sup01'/
&HVAC ID='Ap ext01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext01', VENT_ID='Ap ext01'/
&HVAC ID='Ap ext02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext01', AMBIENT=TRUE, XYZ=-1.2,-2.8,2.2/
&HVAC ID='Ap sup04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup03', AMBIENT=TRUE, XYZ=4.2,-2.4,2.2/
&HVAC ID='Ap sup05', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup03','Ap sup04', XYZ=4.4,-2.4,2.2/
&HVAC ID='Ap sup06', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup04', VENT_ID='Ap sup02'/
&HVAC ID='Ap ext03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext02', VENT_ID='Ap ext02'/
&HVAC ID='Ap ext04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext02', AMBIENT=TRUE, XYZ=5.6,-2.8,2.2/
&HVAC ID='Ap sup07', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup05', AMBIENT=TRUE, XYZ=-3.4,0.0,2.2/
&HVAC ID='Ap sup08', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup05','Ap sup06', XYZ=-3.4,-0.2,2.2/
&HVAC ID='Ap sup09', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup06', VENT_ID='Ap sup03'/
&HVAC ID='Ap ext05', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext03', VENT_ID='Ap ext03'/
&HVAC ID='Ap ext06', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext03', AMBIENT=TRUE, XYZ=-3.8,-1.4,2.2/
&HVAC ID='Ap sup10', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup07', AMBIENT=TRUE, XYZ=7.0,0.0,2.2/
&HVAC ID='Ap sup11', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup07','Ap sup08', XYZ=7.0,-0.2,2.2/
&HVAC ID='Ap sup12', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup08', VENT_ID='Ap sup04'/
&HVAC ID='Ap ext07', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext04', VENT_ID='Ap ext04'/
&HVAC ID='Ap ext08', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext04', AMBIENT=TRUE, XYZ=7.4,-1.4,2.2/
&HVAC ID='Ap sup16', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup11', AMBIENT=TRUE, XYZ=4.2,-2.4,5.4/
&HVAC ID='Ap sup17', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup11','Ap sup12', XYZ=4.4,-2.4,5.4/
&HVAC ID='Ap sup18', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup12', VENT_ID='Ap sup06'/
&HVAC ID='Ap ext11', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext06', VENT_ID='Ap ext06'/
&HVAC ID='Ap ext12', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext06', AMBIENT=TRUE, XYZ=5.6,-2.8,5.4/
&HVAC ID='Ap sup19', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup13', AMBIENT=TRUE, XYZ=-3.4,0.0,5.4/
&HVAC ID='Ap sup20', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup13','Ap sup14', XYZ=-3.4,-0.2,5.4/
&HVAC ID='Ap sup21', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup14', VENT_ID='Ap sup07'/
&HVAC ID='Ap ext13', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext07', VENT_ID='Ap ext07'/
&HVAC ID='Ap ext14', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext07', AMBIENT=TRUE, XYZ=-3.8,-1.4,5.4/
&HVAC ID='Ap sup22', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup15', AMBIENT=TRUE, XYZ=7.0,0.0,5.4/
&HVAC ID='Ap sup23', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup15','Ap sup16', XYZ=7.0,-0.2,5.4/
&HVAC ID='Ap sup24', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup16', VENT_ID='Ap sup08'/
&HVAC ID='Ap ext15', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext08', VENT_ID='Ap ext08'/
&HVAC ID='Ap ext16', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext08', AMBIENT=TRUE, XYZ=7.4,-1.4,5.4/
&HVAC ID='Ap sup25', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup17', AMBIENT=TRUE, XYZ=4.2,-2.4,8.6/
&HVAC ID='Ap sup26', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup17','Ap sup18', XYZ=4.4,-2.4,8.6/
&HVAC ID='Ap sup27', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup18', VENT_ID='Ap sup09'/
&HVAC ID='Ap ext17', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext09', VENT_ID='Ap ext09'/
&HVAC ID='Ap ext18', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext09', AMBIENT=TRUE, XYZ=5.6,-2.8,8.6/
&HVAC ID='Ap sup28', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup19', AMBIENT=TRUE, XYZ=-3.4,0.0,8.6/
&HVAC ID='Ap sup29', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup19','Ap sup20', XYZ=-3.4,-0.2,8.6/
&HVAC ID='Ap sup30', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup20', VENT_ID='Ap sup10'/
&HVAC ID='Ap ext19', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext10', VENT_ID='Ap ext10'/
&HVAC ID='Ap ext20', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap ext10', AMBIENT=TRUE, XYZ=-3.8,-1.4,8.6/
&HVAC ID='Ap sup31', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Ap sup21', AMBIENT=TRUE, XYZ=7.0,0.0,8.6/

```


[illegible]

[illegible]

===== Vuotoreittien ”putket” =====

```
>>> HVAC_ID='Leakage fr low01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr low01', VENT_ID='Leakage fr low01'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr low01', VENT_ID='Leakage fr low02'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr low02', VENT_ID='Leakage fr low03'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr low02', VENT_ID='Leakage fr low04'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr high01', VENT_ID='Leakage fr high01'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr high01', VENT_ID='Leakage fr high02'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr high02', VENT_ID='Leakage fr high04'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr high02', VENT_ID='Leakage fr high03'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.038079, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage fr low01', 'Leakage fr low02', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low02', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.038079, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage fr low03', 'Leakage fr low04', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.038079, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage fr high01', 'Leakage fr high02', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high02', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.038079, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage fr high03', 'Leakage fr high04', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low window01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr low window', VENT_ID='Leakage fr low window01'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low window02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr low window', VENT_ID='Leakage fr low window02'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high window01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr high window', VENT_ID='Leakage fr high window01'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high window02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage fr high window', VENT_ID='Leakage fr high window02'/
>>> HVAC_ID='Leakage fr low window', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.0761959, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage fr low window01', 'Leakage fr low window02', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage fr high window', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.0761959, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage fr high window01', 'Leakage fr high window02', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage staircase 01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage staircase', AMBIENT=TRUE, XYZ=3.0,1.3,3.1/
>>> HVAC_ID='Leakage staircase', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.178948, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage staircase 01', 'Leakage staircase 02', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage staircase 03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage staircase01', VENT_ID='Leakage staircase02'/
>>> HVAC_ID='Leakage staircase 04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage staircase01', AMBIENT=TRUE, XYZ=3.0,1.3,3.6/
>>> HVAC_ID='Leakage staircase01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.178948, LOSS=10.0,10.0, NODE_ID='Leakage staircase 04', 'Leakage staircase 03', LENGTH=1.0E-4/
>>> HVAC_ID='Leakage staircase 05', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage staircase02', VENT_ID='Leakage staircase03'/
>>> HVAC_ID='Leakage staircase 06', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Leakage staircase02', AMBIENT=TRUE, XYZ=3.0,1.3,9.5/
```

[illegible]

[illegible]

[illegible]

===== Ilmanvaihtolaitteisto =====

```
&HVAC ID='Apartment sup', TYPE_ID='FAN', MAX_FLOW=0.0332105, MAX_PRESSURE=75.0/  
&HVAC ID='Apartment ext', TYPE_ID='FAN', MAX_FLOW=0.0505331, MAX_PRESSURE=75.0/  
&HVAC ID='Sup heat', TYPE_ID='AIRCOIL', COOLANT_SPECIFIC_HEAT=1000.0, COOLANT_MASS_FLOW=1000.0, COOLANT_TEMPERATURE=20.0, EFFICIENCY=1.0, CTRL_ID='Fr pressure'/  
&HVAC ID='Sup heat2', TYPE_ID='AIRCOIL', COOLANT_SPECIFIC_HEAT=1000.0, COOLANT_MASS_FLOW=1000.0, COOLANT_TEMPERATURE=20.0, EFFICIENCY=1.0/  
&HVAC ID='Staircase ext', TYPE_ID='FAN', MAX_FLOW=0.283058, MAX_PRESSURE=75.0/  
&HVAC ID='Apartment sup constant', TYPE_ID='FAN', TAU_FAN=-2.0, VOLUME_FLOW=0.0205333, CTRL_ID='Fr pressure'/  
&HVAC ID='Stair sup', TYPE_ID='FAN', VOLUME_FLOW=0.0287764/
```

===== Mallista tulostettujen leikkauskuvien parametrit ja sijainnit =====

```

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.2/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=0.2/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=TRUE, PBX=0.2/
&SLCF QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', PBX=0.2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=TRUE, PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=TRUE, PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.8/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=1.8/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=TRUE, PBX=1.8/
&SLCF QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='N-HEPTANE', PBX=0.2/
&SLCF QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='N-HEPTANE', PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBY=1.0/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=0.2/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBY=1.0/
&BNDF QUANTITY='NORMAL VELOCITY'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

```

&TAIL /